

Рецензенты:

Заместитель директора Государственного предприятия

«Институт НИПТИС им. С.С. Атаева», кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник *Л.Н. Данилевский*

Заведующий кафедрой «Энергосбережение» ГОУ ВПО

«Уральский государственный технический университет - УГТИ»,

доктор экономических наук, профессор *Н.И. Данилов*

Вольфганг Файст

Основные положения по проектированию пассивных домов. - М: Издательство Ассоциации строительных вузов. -144 стр.

Перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А.Е. Елохова

ISBN 3-935243-00-6 (нем.)

ISBN 978-5-93093-619-3 (рус.)

Книга Вольфганга Файста содержит материал по принципам проектирования зданий с низким энергопотреблением и пассивных домов. Данная книга является переводом с немецкого языка и содержит много неизвестных для нашего читателя терминов и определений, поэтому переводчиком дополнительно введено большое количество примечаний в тексте и разъясняющей информации в приложениях. В разделах книги подробно рассматриваются все факторы, влияющие на учет теплопотерь и теплопоступлений в пассивных зданиях. Также в книге сформулированы основные требования к различным конструктивным элементам и инженерным системам пассивных зданий: к наружной теплоизоляционной оболочке, к воздухопроницаемой оболочке, к окнам и дверям, к системе механической приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла, к системам отопления, горячего и холодного водоснабжения и т.д. Основной упор в книге делается на качественное проектирование и выполнение теплоизоляционной оболочки здания без тепловых мостов.

Книга адресована для широкого круга специалистов: архитекторов, инженеров-проектировщиков, научных сотрудников, преподавателей и студентов инженерно-строительных и архитектурных высших и средних учебных заведений, инвесторов, строителей и сотрудников эксплуатационных организаций.

ISBN 3-935243-00-6 (нем.)

ISBN 978-5-93093-619-3 (рус.)

Содержание

© Вольфганг Файст, А.Е. Елохов, 2008

© Издательство АСВ, 2008

Предисловие научного редактора перевода

1. Что такое пассивный дом
2. Принцип пассивного дома - высокая эффективность оболочки здания
3. Теплоизоляция - ключ к пассивному дому
4. Конструирование без тепловых мостов
5. Воздухонепроницаемая оболочка
6. Пассивное использование солнечной энергии
7. Вентиляция: основное условие для создания комфортного микроклимата
8. Пассивный дом: воздушное отопление и использование энергии грунта
9. Возрастающее значение горячего водоснабжения
10. Холодная питьевая вода, сточные воды - также важная тема для пассивного дома
11. Потребление электрической энергии для бытовых нужд - резерв для повышения эффективности
12. Опыт с первыми пассивными домами
13. Путь к малозатратному пассивному дому
14. Проектирование с помощью пакета проектирования пассивного дома (PHPP).
Подтверждение параметров пассивного дома.
15. Литература
16. Пассивные дома. Примеры построенных объектов
17. Приложение 1. Порядок вычисления жилой площади (энергозависимой площади) для PHPP
Приложение 2. Первичная энергия, конечная энергия и полезная энергия
Приложение 3. Постановление по энергосбережению EnEV
Приложение 4. Линейный коэффициент теплопередачи
Приложение 5. Воздухонепроницаемый стык оконной рамы с внутренней штукатуркой
Приложение 6. Пересчет природного газа из кубических метров в киловатт- часы в Германии
18. Рекламно-информационная часть

Предисловие научного редактора перевода

Предлагаемая читателю книга д-ра Вольфганга Файста (издание 2001 г.)

является первым полным переводом книги на русский язык. Автор подробно описывает способы многократного снижения потребляемой зданием энергии. При этом комфорт в жилом здании не только не снижается, но даже повышается. Это достигается благодаря реализации равномерного по помещению поля температур и поддержанию обязательного нормативного воздухообмена с помощью механической вентиляции. Высокие показатели энергоэкономичности и комфорта убедительно подтверждены посредством прямых измерений и наблюдений за завершенными проектами с проживающими в домах жителями.

Несмотря на подробное изложение основных положений по проектированию пассивных зданий, эти материалы не следует рассматривать как пособие по проектированию. По сути, это вводная книга в довольно обширную тематику, по которой д-р В. Файст и его коллеги выпустили книги и материалы с подробным описанием конструкций и узлов пассивных зданий. Также доступны для ознакомления протоколы многочисленных теплотехнических испытаний Института пассивного дома г. Дармштадта. Однако на русском языке информация по этой теме не достаточна.

Несомненно, что внимание к проблеме рационального использования энергоресурсов и тематике пассивных домов будет возрастать. Поэтому особый интерес представляют рекомендации книги, актуальные для условий Российской Федерации. Здесь необходимо сделать несколько замечаний.

В книге изложены принципы, справедливые при строительстве пассивных зданий в областях, странах с умеренным климатом. Часть этих положений применительно к суровым климатическим условиям России требует пересмотра или коррекции.

Но самые основные, главные принципы универсальны и основаны на применении тех узлов, которые уже присутствуют в здании. Эти узлы, компоненты применяются с определенными, иногда существенными изменениями: усиление теплоизоляции, применение энергоэффективных окон, оснащение механической вентиляции теплообменником воздух-воздух и объединение их в единый узел. Этот естественный, логичный подход оказался весьма жизнеспособным и успешно развивается.

Кроме способов минимизации расхода тепловой энергии на отопительные цели (как предельный случай, показаны примеры зданий с нулевым потреблением тепловой энергии на отопление), в книге описаны приемы радикального снижения всех энергопотерь. Один из примеров - достижение суммарного удельного расхода до величины $33 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год на отопление, горячее водоснабжение и электроснабжение. Разумеется, это достигается и за счет совершенства применяемых электробытовых приборов, как и общего высокого технологического уровня стройиндустрии. Наконец, книга содержит полезные разъяснения, положения против заблуждений, которые регулярно воспроизводятся в среде наших проектировщиков и специалистов.

Так, часто встречается утверждение «стены должны дышать». Но это весьма вредно для тепловой оболочки, ее долговечности и, кроме того, приводит к выносу теплоты. Впрочем, об этом давно писали и отечественные классики (К.Ф. Фокин «Строительная теплотехника ограждающих частей зданий», изд.4-е, 1973 г.).

Другое весьма важное положение д-ра В. Файста - «конструирование без тепловых мостов», успешно освоенное практически. В нашей практике можно, «испортив» тепловую оболочку, например, железобетонными выпусками под лоджии, «добирать» требуемый показатель путем наращивания теплоизоляции в другом месте. В пассивных домах так не получится, здесь все возможности по улучшению теплоизоляции уже выбраны и оптимизированы. Тем более, что в последние годы в практику внедрены технические приемы, позволяющие минимизировать тепловые мосты без ущерба для функционального назначения здания.

Очень важен, как показано в книге, баланс между основными компонентами теплозащиты. Так, очень хорошая теплоизоляция оболочки, примененная с обычными, стандартными окнами не обеспечит должного комфорта. Около окон, возможно, по-

требуется размещать отопительные приборы, а потери тепла через такие обычные окна практически невозможно восполнить усилением теплоизоляции. Без вентиляционной системы с высоким КПД рекуператора нет смысла заниматься особенно тщательным утеплением и наращиванием теплоизоляции, так как вентиляционные потери будут несоизмеримо больше выигрыша от дополнительной теплоизоляции.

По поводу пассивных зданий встречается утверждение - «все это дорого и не окупается». Действительно, первые пассивные дома были заметно дороже обычных аналогов. Но с ростом числа реализованных проектов и при переходе к застройке пассивными домами районов, поселений издержки были заметно снижены, особенно это проявилось при заводском изготовлении стеновых панелей. Д-р В.Файст прозорливо заметил (2001г.), что стоимость вентиляционной системы с рекуператором будет снижаться. Разница действительно весьма заметна, если сравнить приведенные в книге и текущие цены таких систем. Незначительное, в пределах нескольких процентов, превышение стоимости пассивных зданий над обычными объясняется и работой архитекторов, которые успешно проектируют пассивные здания простой геометрии, без архитектурных излишеств. Это дешевле и одновременно соответствует теплотехническим требованиям.

Другое заблуждение связано с утверждением: «Пассивный дом - это хорошо и доступно». Строительство таких домов в заметных масштабах и переход к массовому производству потребует создания современной технологической базы. Переход к индустриальному производству, к сборке домов из готовых узлов заводского изготовления, займет годы и десятилетия.

Можно ли «пассив хаус», оптимизированный для климатических условий Германии и Средней Европы, непосредственно применить для той части России, где проживает основная часть ее населения? За исключением отдельных областей, ответ скорее будет отрицательным. Необходимо вносить серьезные изменения, хотя главные принципы остаются (усиление теплоизоляции, эффективные окна и вентиляционная система с рекуператором).

Пассивный дом предполагает максимальное использование солнечной радиации. Зимой в Германии баланс теплопоступлений на энергоэффективных окнах дает основной вклад в восполнение теплопотерь здания, если применить окна большой площади на его южной стороне. При этом тепловая оболочка и вентиляционная система должны соответствовать стандартам пассивного дома. Это сочетание позволяет совместить вентиляцию и отопление путем незначительного нагрева приточного воздуха, не превышая при этом относительно небольшую нагрузку, величиной до 10 Вт/м². Такое упрощение системы отопления дает заметный выигрыш в стоимости. В дополнение к этому, удельный расход тепловой энергии на отопление не должен превышать 15 кВт·ч/м². Такова в общих чертах формула пассивного дома.

В условиях, например, Московского региона облик системы отопления определяют Невысокая интенсивность солнечной радиации и низкие температуры (включая наиболее холодную пятидневку) в зимние месяцы. Соответственно, воздушное отопление посредством нагрева воздуха после теплообменника вентиляционной системы, как в пассивном доме, будет достаточно только в отдельные периоды отопительного сезона. Основные зимние месяцы потребуют дополнительного отопления, либо отдельной системы, не совмещенной с вентиляционной. Следующий критерий для пассивного дома - достижение величины удельного расхода тепловой энергии на отопление не более 15 кВт·ч/м² за отопительный период, достижим в наших условиях, но со значительными оговорками. При этом, кроме точного проектирования и изготовления, желательно поставить теплоизолирующие ставни на окна и тем решить проблему ночных теплопотерь через окна в зимние месяцы. Разумеется, дополнительные проветривания (путем открытия окон) недопустимы, потребуется выполнить все обязательные мероприятия по герметизации, отсутствию тепловых мостов и т.д. С учетом всех реалий, в наших условиях строительство такого здания будет носить штучный характер.

Следует ли стремиться к достижению столь низкой величины удельного расхода тепловой энергии на отопление - 15 кВт·ч/м²? Ведь наш норматив по горячему водоснабжению превышает 100 л/чел в сутки, что примерно в 4...5 раз больше, чем в пассивном доме (норматив на горячее водоснабжение в пассивных домах соответствует нормам, принятым в Германии). При высоком расходе горячей воды (более 100 л/чел в сутки), расход тепловой энергии на горячее водоснабжение, оказывается сравнимым с расходом на отопление и даже может его значительно превысить. Однако, отказать жителям самой холодной страны мира в ванне с горячей водой едва ли правильно. Со временем, придется снижать потребление горячей воды, а в долгосрочной перспективе утилизировать тепло использованной горячей воды в пределах здания.

Поэтому вполне достойной для освоения представляется величина удельного расхода на отопление 25...35 кВт·ч/м², или примерно три литра жидкого топлива на отопление 1 м² (так называемый «трехлитровый дом»). Это не «пассив хаус», но применение главных принципов здесь также обязательно. Для таких домов и этой тематики еще предстоит найти свое название. Например, энергоэкономичный дом с трехлитровым потреблением и тому подобное.

Но богатый опыт Института пассивного дома, безусловно, необходимо осваивать: решения конструкции и узлов, приемы, методики теплофизических испытаний, результаты сертификационных испытаний узлов и так далее.

Наконец, следует обратить внимание на следующие моменты. Д-р В. Файст применяет пластинчатые теплообменники, что может привести к невозможному выносу влаги, а при отрицательных наружных температурах к снижению относительной влажности воздуха до низких значений. В Германии такие условия проявляются относительно редко, а у нас являются обычными в зимнее время. Восполнение влаги для получения нормативной относительной влажности может потребовать при низких наружных температурах заметных дополнительных расходов энергии, сравнимых с расходом на отопление. Здесь необходимо применять роторный теплообменник с функцией возврата влаги. Такой аппарат лучше соответствует нашим условиям. Другая особенность: совместное применение грунтового теплообменника и небольшого теплового насоса на выходе вентиляционной системы - также нерационально в наших климатических условиях. В книге не обсуждается тепловлажностный режим, состояние утеплителя, что важно для нас и требует особого внимания, так как часто применяется минераловатный утеплитель. Серьезной является проблема внешней продуваемости теплоизоляции (огрехи монтажа), хотя оболочка при этом может быть герметичной изнутри. Особого внимания также требуют расчеты теплового баланса, когда выбирается величина внутренних бытовых тепловыделений. По российским нормам эта величина составляет 10 или 17 Вт/м² площади жилых помещений, в зависимости от населенности квартиры. Лучше ориентироваться на фактические значения внутренних тепловыделений поскольку при малом удельном потреблении тепла на отопление, эта величина при расчетах сильно зависит от задаваемой величины внутренних тепловыделений.

В данной книге нет описания примеров многоэтажных зданий, выполненных в стандарте «пассивный дом». Это связано с тем, что в Германии популярна малоэтажная застройка, хотя и дома высотой 5...8 этажей уже построены как пассивные.

В. В. Целиков, научный руководитель проекта
«теплых домов» в микрорайоне Куркино,
г. Москва.



Рис. 1. Южный фасад первого реализованного пассивного дома в г. Дармштадт в районе Кранихштайн (Фото: Министерство по защите окружающей среды федеральной земли Гессен)

1. Что такое пассивный дом

Стандартная система отопления в Средней Европе - это центральное водяное отопление с использованием радиаторов, трубопроводов и центрального котла, работающего на жидком топливе или газе. Обычно здания старого жилого фонда в Средней Европе имеют тепловую нагрузку системы отопления около 100 Вт/м^2 (ватт на квадратный метр жилой площади*). Это означает, что каждый квадратный метр должна освещать лампа накаливания мощностью 100 Вт, чтобы заменить отопление. Главную идею пассивного дома можно вкратце объяснить так: теплопотери здания снижаются до такой степени, что отдельное отопление совсем не требуется (рис. 2).

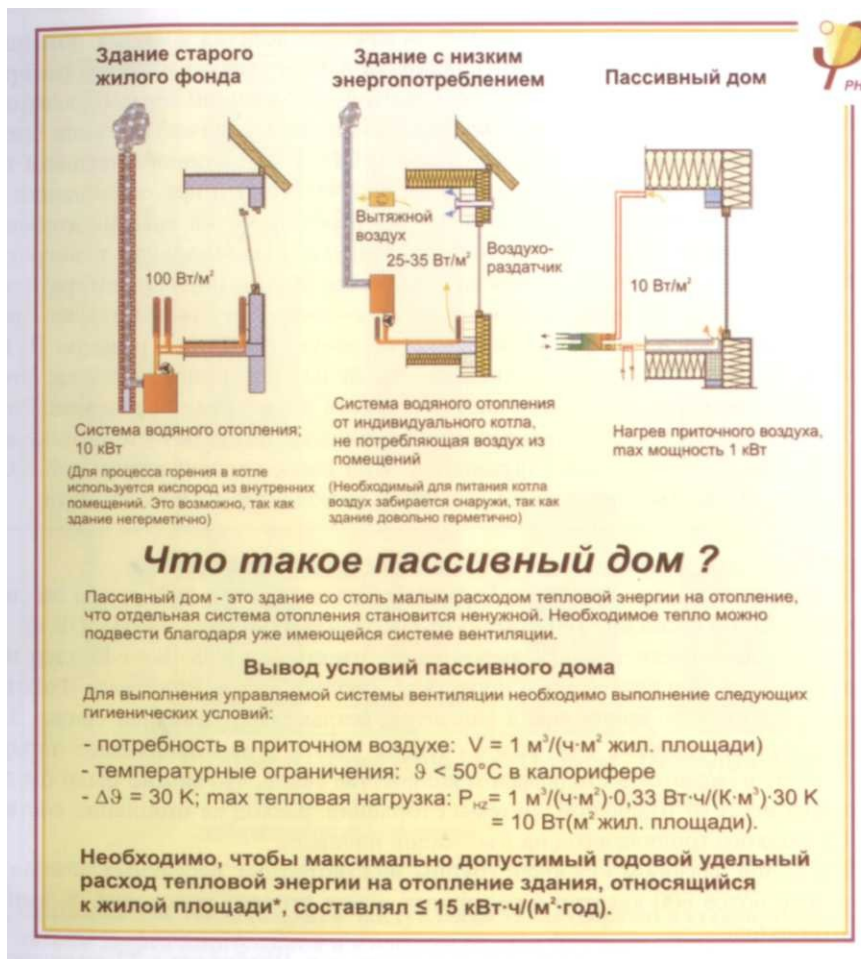


Рис. 2. Комфортный микроклимат без системы отопления. Отопление возможно с использованием только системы приточно-вытяжной вентиляции

*«Жилая площадь» переведено дословно. Под жилой площадью здесь и далее по тексту следует понимать площадь, которая примерно соответствует полезной площади согласно норм РФ. Точную методику вычисления этой площади см. в Приложении 1.

На примере можно показать, что требуемое минимальное отопление легко достигается с помощью нагрева приточного воздуха. Если максимальная требуемая тепловая нагрузка на систему отопления здания составляет менее чем $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$, то для жилой комнаты будет достаточно излучения двух вышеупомянутых ламп накаливания. Требуемое тепло получают в этом случае, нагревая приточный воздух системы принудительной вентиляции. На рис. 2 и в тексте, выделенном рамкой, показаны расчеты, почему и как это функционирует. Если нагрев приточного воздуха системы вентиляции достаточен для здания как единственный источник тепла для системы отопления, то такое здание называют пассивным домом, так как оно не нуждается в активной системе отопления, а также в системе кондиционирования.

Обязательным условием для соблюдения качества воздуха в жилых помещениях является контролируемая система вентиляции. При этом следует избегать рециркуляции воздуха. Тем не менее приточный воздух этой обновленной системы вентиляции можно использовать для транспортирования небольшого количества тепла (летом - холода). По германским промышленным нормам DIN 1946 на одного человека требуется $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ свежего воздуха, таким образом, получается, что при соблюдении условия 30 м^2 жилой площади на одного человека необходимо на каждый квадратный метр жилой площади $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ приточного воздуха. Максимальная температура в

воздухонагревателе (калорифере) должна быть менее 50 С, чтобы предотвратить подгорание пыли. Простой расчет (см. выше) с теплоемкостью воздуха, равной 0,33 Вт·ч/(С·м³), дает в итоге максимальную тепловую нагрузку в размере 10 Вт/м², которая может быть без проблем подведена с помощью приточного воздуха. Этот результат относится, впрочем, ко всем жилым зданиям независимо от климата. Разница между теплопотерями и свободным теплом (теплопоступления без учета расхода тепла на отопление. - Прим. перев.) ограничена этой совсем малой величиной. Однако затраты на строительство значительно различаются в зависимости от климата.

Реализация пассивных домов: примеры построенных объектов

Первый пассивный дом в истории Германии был построен в 1991 г. при поддержке федеральной земли Гессен в г. Дармштадт, р-н Кранихштайн (рис. 1) [НМ1Ш-а]. Авторами архитектурной части проекта являются архитекторы проф. Ботт-Риддер и Вестермауер; разработкой и реализацией проекта руководил доктор Вольфганг Файст (рис. 4), который работал в то время еще в Институте жилья и окружающей среды. Здание было полностью построено в 1991 г. и с октября 1991 г. в нем проживают четыре семьи. Это здание нуждается в столь малом количестве тепла, что можно было бы действительно отказаться от отдельной системы отопления: расход на отопление составляет меньше 1 л жидкого топлива в год на 1 м² жилой площади. С 1996 г. под надзором «Рабочей группы малозатратных пассивных домов» было построено уже более 600 квартир в пассивных домах второго поколения. К вышесказанному относятся:

- первый поселок, состоящий из пассивных домов, в г. Висбадене с 22 таунхаусами*, которые были полностью построены в 1997 г. заказчиком Rasch & Partner;
- здания, построенные с использованием опалубочных элементов заказчиком FgH и другими;
- отдельные и двухквартирные коттеджи, которые возводил с 1998 г. как пассивные дома архитектор Манфред Браузер;
- административное здание фирмы Wagner & Co, которое эксплуатируется с 1998 г. без традиционного отопления и без кондиционеров;
- дома архитектора Рудольфа, в особенности поселок в Фирнгейме и поселок из пассивных домов в Штутгарте.

* Под таунхаусами понимают дома одинакового конструктивного исполнения и типа, которые построены в один ряд (возможно небольшое смещение по горизонтали или вертикали) и имеют общие боковые стены с соседними домами.

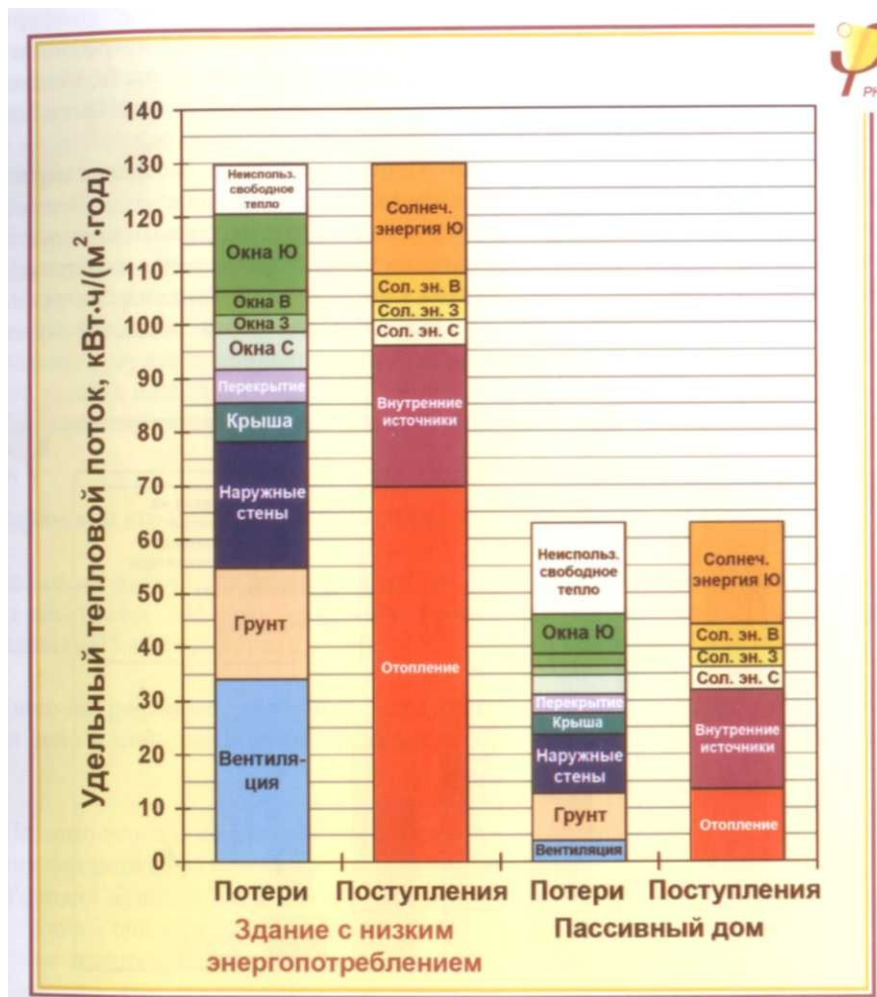


Рис. 3. Баланс потерь тепла (слева) и поступлений тепла (справа) в стандартном здании с низким энергопотреблением и в пассивном доме. Тепловые потери в пассивном доме уменьшены до такой степени, что проникающая через окна солнечная энергия и внутренние источники тепла вместе с предварительным подогревом приточного воздуха достаточны, чтобы возместить эти потери тепла. (В столбцах «Потери» указаны одновременно и перекрытие, и крыша. Это сочетание возможно для мансардного здания. Неиспользуемое свободное тепло - это неиспользуемые солнечные теплопоступления. Их никогда нельзя использовать на 100%, особенно в очень ясные дни, поэтому определенная их часть расположена в столбцах «Потери» (см. гл. 6 и гл. 14). - Прим. перев.).

Застройщики и жильцы довольны этими домами. Стандарт пассивного дома стал образцом для последующего строительства.

Сейчас можно было бы достичь низкой потребности в тепле за счет большого расхода электрической энергии в здании и этим увеличить внутренние источники тепла. Это легко достигается, если бы в доме использовали малоэффективные старые бытовые электроприборы, лампы накаливания и всевозможную старую технику. Однако такой подход не соответствует поставленной цели - оказывать минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, а также не соответствует созданию комфортного микроклимата в летнее время. Напротив, необходимо, чтобы общее потребление первичной энергии, т.е. сумма всех затрат на невозобновляемые энергоносители, а именно: на отопление, нагрев горячей воды и электрическую энергию для бытовых нужд было довольно мало.

Пассивный дом - это здание, у которого общий показатель потребления первичной энергии* при нормальной эксплуатации не превышает 120 кВтч/(м²·год).

Этот общий показатель потребления первичной энергии означает, что в пассивном доме все бытовые коммунальные энергетические нагрузки (отопление, горячая вода, освещение, приготовление еды, телевизор и т.д.) приведены к минимальному расходу энергии. Это меньше того, что сегодня в среднем потребляется в домашнем хозяйстве только на электрическую энергию для бытовых приборов и на освещение.

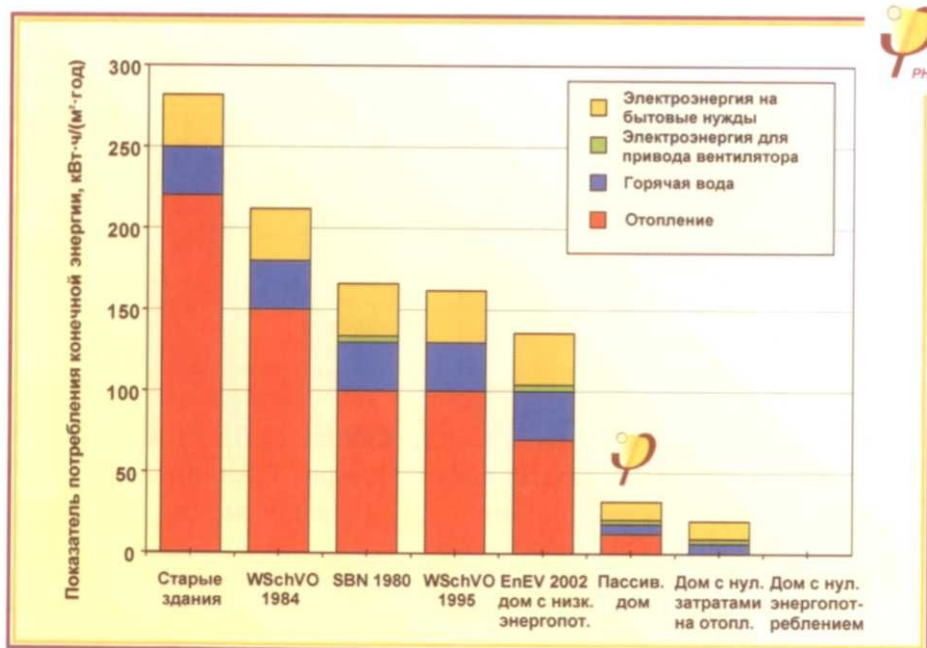


Рис. 4. Сравнение показателей потребления конечной энергии* (WSchVO - Постановление по тепловой защите (ФРГ); SBN 1980 - Шведские строительные нормы 1980 г.; EnEV 2002** Постановление по энергосбережению 2002 г.). Шведские нормы 1991 г. примерно соответствовали предписаниям для зданий с низким энергопотреблением EnEV 2002/

В то время как существующие на сегодняшний момент здания (построенные до 1980 г.) все еще потребляют на отопление помещений около 220 кВтч/(м²·год), эта величина для новых зданий, построенных после 1995 г., в соответствии с измененными постановлениями по тепловой защите снизилась почти вдвое (рис. 4). Дополнительно около 28 кВт·ч/(м²·год) необходимо для нагрева горячей воды и 32 кВтч/(м²·год) эл. энергии для бытового потребления (без отопления и нагрева горячей воды). В зданиях с низким энергопотреблением, которые в большом объеме строились в Германии с 80-х годов и на которые потом будет в обязательном порядке распространяться строительный стандарт в соответствии с Постановлением по энергосбережению 2002 г. (EnEV 2002)** для новых зданий, понижается потребление энергии на отопление еще раз на 25...30% до 30...70 кВтч/(м²·год). Для пассивного дома годовое энергопотребление на отопление сокращено до величины менее чем 15 кВтч/(м²·год) - это меньше чем 7% по сравнению с существующими старыми зданиями. Помимо этого в пассивном доме уменьшено также потребление энергии для нагрева горячей воды и энергии для бытовых нужд.

Пассивный дом позволяет достичь совершенно минимальной величины «необходимого потребления тепловой энергии на отопление». Решающим является то, что нагрузка должна быть такой незначительной, чтобы отдельная система отопления стала фактически ненужной: в таком случае пассивный дом можно «отапливать» в очень холодный период благодаря подогреву приточного воздуха или с помощью небольшого количества дополнительных ламп накаливания.

Критерии для строительства пассивных домов

1. Удельный расход тепловой энергии на отопление пассивного дома, определенный с помощью «Пакета проектирования пассивного дома» (PHPP), не должен превышать 15 кВт·ч/(м²·год).
2. Общее потребление первичной энергии для всех бытовых нужд (отопление, горячая вода и электрическая энергия) не должно превышать 120 кВт·ч/(м²·год).

Помимо этого в пассивном доме должно быть по-летнему комфортно без использования кондиционера!

Условия пунктов 1 и 2 для пассивного дома являются достаточными. Не предписано, с каким видом теплоизоляции и с какой системой вентиляции должно достигаться низкое энергопотребление. Проектирование здания предоставляется авторам проекта. Создание пассивного дома становится доступнее по мере улучшения качества строительных изделий и конструкций.

На сегодняшний день существует возможность почти каждое новое здание строить по стандарту пассивного дома. В отдельных случаях для этого необходимо приложить еще некоторые усилия. В следующих главах даны указания для последовательного проектирования пассивных домов.

2. Принцип пассивного дома – высокая эффективность оболочки здания

Выведенная в 1-й главе величина 10 Вт/м² - это необычайно малая отопительная нагрузка. Как можно достичь этого в Средней Европе, где расчетная температура наружного воздуха составляет часто около -12 °С? На поперечном сечении первого пассивного дома в г. Дармштадте (рис. 5) основные принципы понятны и предельно просты - на пути к малозатратному пассивному дому надо соблюдать два основных положения:

- уменьшить теплопотери;
- оптимизировать теплопоступления при пассивном использовании солнечной энергии.

При нашем климате (в Германии. - Прим. перев.) важнейшим мероприятием является снижение теплопотерь. Без тщательного улучшения теплоизоляции невозможен пассивный дом! К сожалению, в прошлом обе концепции - «уменьшение теплопотерь» и «увеличение теплопоступлений» - рассматривали как противоположные. В действительности же обе составляющие оптимально дополняют друг друга в пассивном доме. Если теплопотери уменьшаются не так сильно, то и эффект от теплопоступлений при пассивном использовании солнечной энергии всегда длится не очень долго, так как чистые теплопоступления (нетто) ограничиваются в таком случае переходными временами года, в которые дом с таким видом минимального энергопотребления все равно не нужно отапливать. Если теплоизоляция недостаточна, то в солнечные дни в комнатах с большими окнами, выходящими на юг, действительно очень тепло, но уже вечером этот эффект пропадает, так как это тепло быстро выходит из помещения. Только благодаря очень хорошей теплоизоляции пассивное использование солнечной энергии становится действительно эффективным (см. гл. 6). Лишь когда потери так сильно уменьшены, что даже минимальное количество солнечной энергии в декабре и январе достаточно для обеспечения теплового режима, тогда стандарт пассивного дома считается достигнутым.

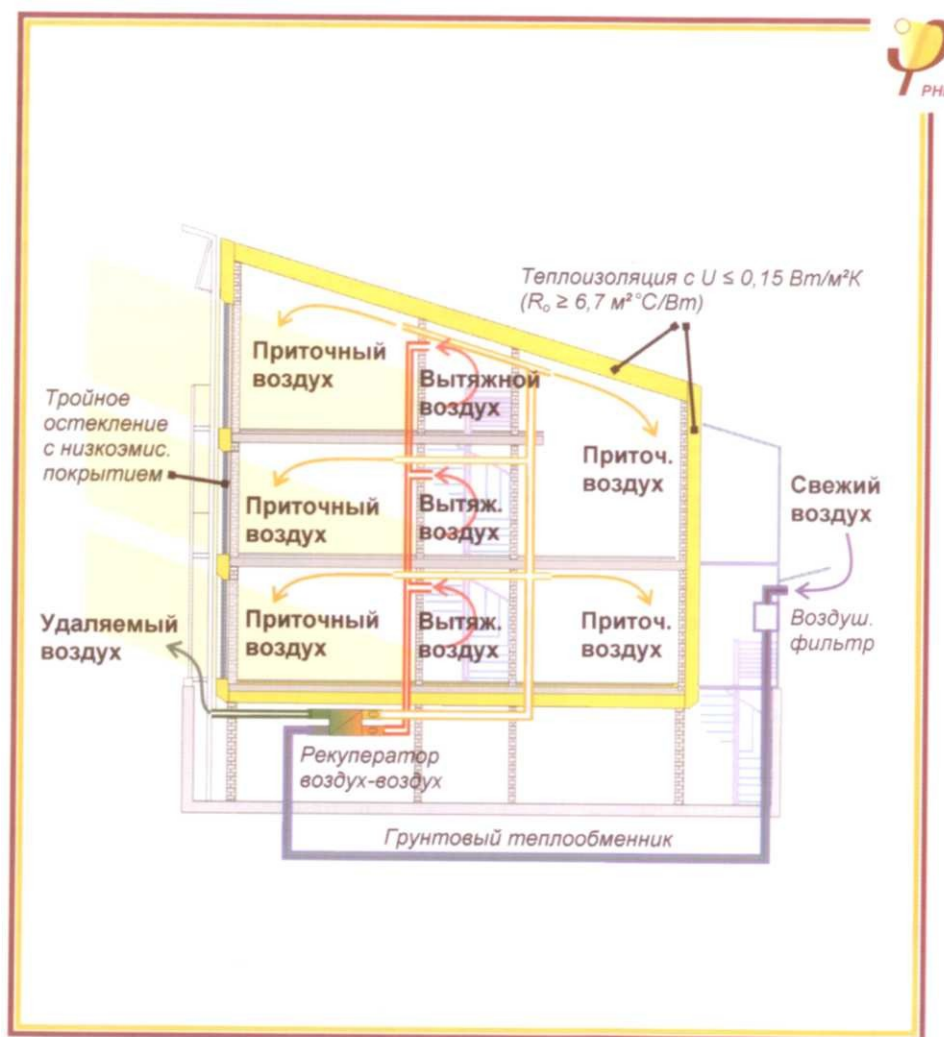


Рис. 5. Поперечное сечение пассивного дома: массивная теплоизоляция, специальные окна для пассивного дома и система вентиляции с рекуперацией тепла

При тепловых потерях различают теплопередачу через воздухонепроницаемые строительные элементы вследствие теплопроводности (называемую «трансмиссионной теплопередачей») и тепловые потери с воздушными потоками (называемые «вентиляционными тепловыми потерями»). Оба вида тепловых потерь в пассивном доме по сравнению с обычными зданиями должны быть сильно уменьшены. Тогда достаточны тепловые поступления в зимний период, которые компенсируют незначительные тепловые потери. Методы сокращения тепловых потерь известны, опробованы и испытаны:

- улучшенная теплоизоляция стандартных строительных элементов (крыша, стены, полы - глава 3);
- уменьшение тепловых мостов за счет качественного выполнения работ (глава 4);
- герметизация оболочки здания (глава 5);
- использование специальных окон для пассивных зданий (глава 6);
- высокоэффективная рекуперация тепла из вытяжного воздуха (глава 7).

Выполнение этих пяти пунктов уже достаточно, чтобы достичь стандарта пассивного дома. Все вышеназванные методы достаточно известны из опыта строительства зданий с низким энергопотреблением. Теплоизоляция кровли и стен, а также окна и вентиляция используются в каждом доме. Пассивный дом не нуждается в принципиально новых или другого вида строительных элементах и оборудовании, достаточно Улучшения обычных элементов, правда, это должно быть значительное

улучшение! Прежде всего, дело заключается в том, что все детали так тщательно комбинируются, чтобы при этом получить функционально правильное решение.

Как и при каждой инновации, вследствие различных изменений тот или другой пассивный дом может показаться необычным. Вызов архитектуре состоит в том, что общую концепцию пассивного дома можно выразить на понятном для проектирования языке. Все больше архитекторов сталкиваются с этой задачей, о чем говорят их многообразные решения.

3. Теплоизоляция – ключ к пассивному дому

Теплоизоляция оболочки пассивного дома оказывает решающее влияние на необходимое потребление тепловой энергии на отопление. Эта теплоизоляция должна:

- иметь высочайшее качество;
- укладываться плотно и без зазоров вокруг всего здания.

Теплоизоляция здания считается самой лучшей тогда, когда значительно снижаются теплотери. Проще всего это достигается при проектировании наружных стен по возможности с минимальной площадью. Такое устройство теплоизоляции является экономически эффективным: если площадь наружной оболочки мала, то уменьшается стоимость строительства. Принципы для достижения этого давно известны:

- по возможности компактный способ строительства с благоприятным А/У соотношением (отношение площади внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания к отапливаемому объему здания [м²/м³]. - Прим. перев.);
- сооружение пристроек вместо отдельно стоящих зданий;
- следует избегать сложных форм наружной теплоизоляционной оболочки здания.

Это не означает, что необходимо отказаться от архитектурных деталей оформления фасадов. Проблема в том, что за теплоизоляционной оболочкой и в ней самой появляются новые зазоры. Компактность - это в первую очередь вопрос цены строительства. Чем менее компактна оболочка здания, тем больше необходимо инвестировать для сокращения теплотерь, что приводит к удорожанию строительства.

Основные принципы хорошей теплоизоляции:

- необходимо определить замкнутую термическую (теплоизоляционную) оболочку, охватывающую комфортную зону. Все помещения, температура которых в зимнее время должна быть выше + 15 С, находятся внутри оболочки;
- эта оболочка, которая прерывается только в местах установки окон (см. гл. 6), должна иметь во всех местах высокие теплоизоляционные характеристики. Минимальная толщина утеплителя составляет в любом месте теплоизоляционной оболочки 25 см. (Группа по коэффициенту теплопроводности 040, т.е. $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$).

Для проектирования это означает: в каждом горизонтальном разрезе и в каждом сечении теплоизоляционную оболочку каждого отдельного строительного объекта необходимо показывать на чертежах с помощью широкой толстой линии карандаша в масштабе эквивалентном толщине утеплителя 25 см.

На практике даже желательно, по возможности, еще больше улучшить теплоизоляцию непрозрачных наружных строительных элементов. Целесообразно, чтобы коэффициент теплопередачи V был равен около 0,1 Вт/(м²К) (сопротивление теплопередаче $K_o = 1/0,1 = 10 \text{ (м}^2\text{°С)/Вт}$. - Прим. пер.), что соответствует эквивалентной толщине эффективного утеплителя около 40 см. Конечно, это большая толщина утеплителя, но только следуя этому пути, можно в настоящее время достигнуть малых теплотерь по приемлемой цене. В будущем все больше будут использоваться также вакуумные панели, с применением которых возможен высокий теплоизоляционный эффект при относительно малых толщинах стен.

	$U, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [или $R_o = 1/U,$ $(\text{м}^2\text{°С})/\text{Вт}]$	Эквивалентная толщина утеплителя для группы по коэффициенту теплопроводности 040*
Необходимая величина в каждом месте	0,15 [6,67]	25 см
Как правило, необходимо стремиться к величине	0,10 [10,0]	40 см

- Для данной группы коэффициента теплопроводности $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{С})$.

Рассматривая уже приведенные примеры, видно, что кажущиеся на первый взгляд очень высокие теплотехнические свойства теплоизоляционной оболочки на практике совсем не вызывают удивления. На основе этого предлагаются совершенно новые, экономически обоснованные конструктивные детали для решения этой задачи.

Сложных конструкций необходимо избегать: они оказываются малопрактичными и становятся прежде всего дорогими. Теплоизоляцию можно сконструировать так, чтобы устройство теплоизоляционной оболочки оказалось очень простым и пластичным.

Добросовестное выполнение теплоизоляции оказывается тоже очень важным. С самого начала проектирования необходимо обратить внимание на возможность выполнения проекта.

За последние пять лет был разработан ряд конструкций наружных стен, пригодных для пассивных зданий (рис. 6):

- а) теплоизоляционная система для наружных стен (двухслойная конструкция) с толщиной эффективной теплоизоляции более чем 25 см;
- б) несъемная опалубка из пенополистирола, которая заполняется бетоном на строительной площадке. Не представляет особых проблем увеличение наружного слоя пенополистирольной опалубки на несколько сантиметров для достижения стандарта пассивного дома;
- в) элементы стен из деревянных щитов с двутавровыми легкими балками и более чем 30 сантиметровым слоем теплоизоляции;
- г) многослойные стеновые элементы заводской готовности с теплоизоляцией из пенополиуретана;
- д) готовые элементы из легкого бетона с интегрированной теплоизоляцией;
- е) блочные шпунтовые дощатые стены с теплоизоляцией, находящейся с наружной стороны;

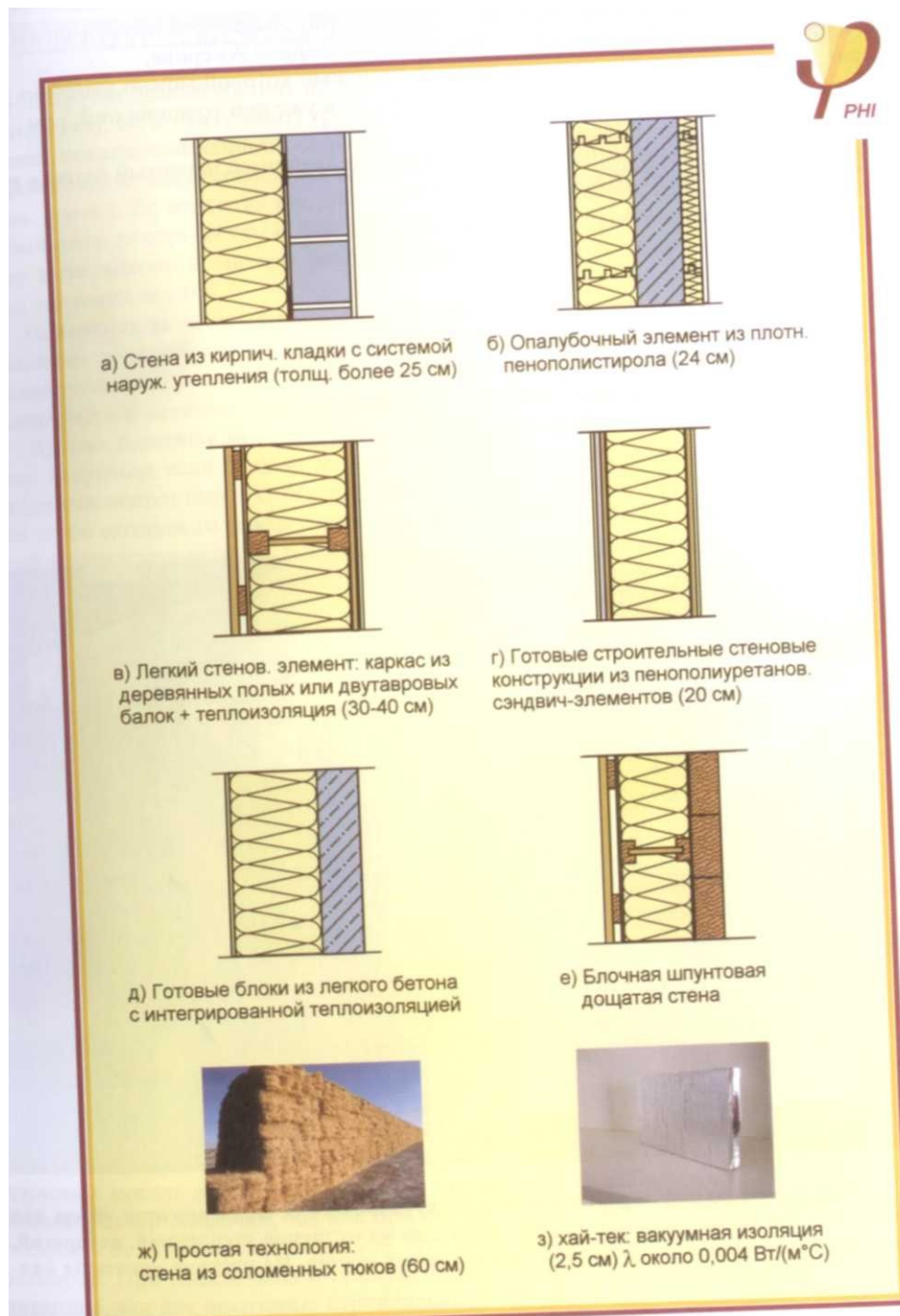


Рис.6. Конструкции наружных стен, пригодные для пассивных зданий

ж) простая технология из природного материала: строительство с использованием тюков из соломы. Данный метод очень популярен в Северной Америке;

з) версия хай-тек: вакуумная теплоизоляция, с помощью которой можно успешно достичь низкого значения коэффициента теплопередачи уже при толщине от 2,5 см.

Постоянно разрабатываются новые конструкции, например, пористый бетон в комбинации с теплоизоляцией из минеральной ваты.



4. Конструирование без тепловых мостов

Оболочки зданий состоят не только из общепринятых конструкций (стена, крыша, перекрытие), но и охватывают грани, углы, стыки и места нарушения целостности наружной теплоизоляционной оболочки (вследствие сквозного прохождения, например, трубопроводов, вентиляционных каналов или элементов строительных конструкций. Прим. перев.). Во всех этих местах теплопотери, как правило, увеличены по сравнению с обычными поверхностями. Благодаря тщательному проектированию и добросовестному выполнению возможно довольно сильно сократить теплопотери, возникающие из-за тепловых мостов.

Появления некоторых тепловых мостов едва ли можно избежать: например, повышенные теплопотери вдоль наружной грани здания. Эти и другие так называемые «геометрические» тепловые мосты можно легко учитывать благодаря тому, что теплопотери рассчитываются для наружных поверхностей соответствующих конструкций.

Другие тепловые мосты обусловлены неблагоприятными конструктивными деталями: например, если балконная плита термически не отделена от бетонного перекрытия (лучше использовать отдельный фундамент для балконов), то добавочные теплопотери этого «холодного ребра» становятся значительными. Таких конструктивных проникновений в теплоизоляционной оболочке необходимо избегать, особенно в пассивных зданиях.

Соблюдение четырех правил помогает снизить теплопотери, возникающие из-за тепловых мостов.

Правило избегания тепловых мостов	По возможности не делать отверстия в теплоизоляционной оболочке
Правило прохождения теплоизоляции	Если не возможно избежать отверстий в теплоизоляционном слое, то необходимо по возможности в этом месте максимально увеличить сопротивление теплопередаче в слое теплоизоляции, например, использовать пористый бетон или древесину
Правило примыкания (для стыков)	Расположение утеплителя в стыках строительных элементов должно быть без пустых пространств, т.е. стык должен быть полностью изолирован
Правило геометрии	Выбирать по возможности грани с тупыми углами ($\geq 90^\circ$)

При проектировании помогает также следующее правило - вся наружная

оболочка (без исключения) в слое теплоизоляции обводится толстым слоем карандаша (на плане и разрезе. - Прим. перев.) в масштабе, соответствующем минимальной требуемой толщине теплоизоляции (для пассивного дома 25 см).

В опубликованной до настоящего времени стандартной технической литературе о тепловых мостах в качестве исходного значения часто выбирался не наружный, а внутренний размер оболочки, так как при выборе внутреннего размера возможен учет теплопотерь от отдельных помещений. Эта информация забывается при учете наружных размеров. При практическом применении внутреннего размера, разумеется, возникает путаница, так как некоторые «тривиальные» ситуации создают искусственно тепловые Мосты. Так, например, обычное примыкание внутренней и наружной стен. Этот эффект возникает потому, что с использованием внутреннего размера остается неучтенной наружная площадь, относящаяся к данной области. Коэффициенты, учитывающие теплопотери от линейных тепловых мостов, относящихся к внутренним размерам, в большинстве случаев существенно выше, чем относящиеся к наружным размерам.

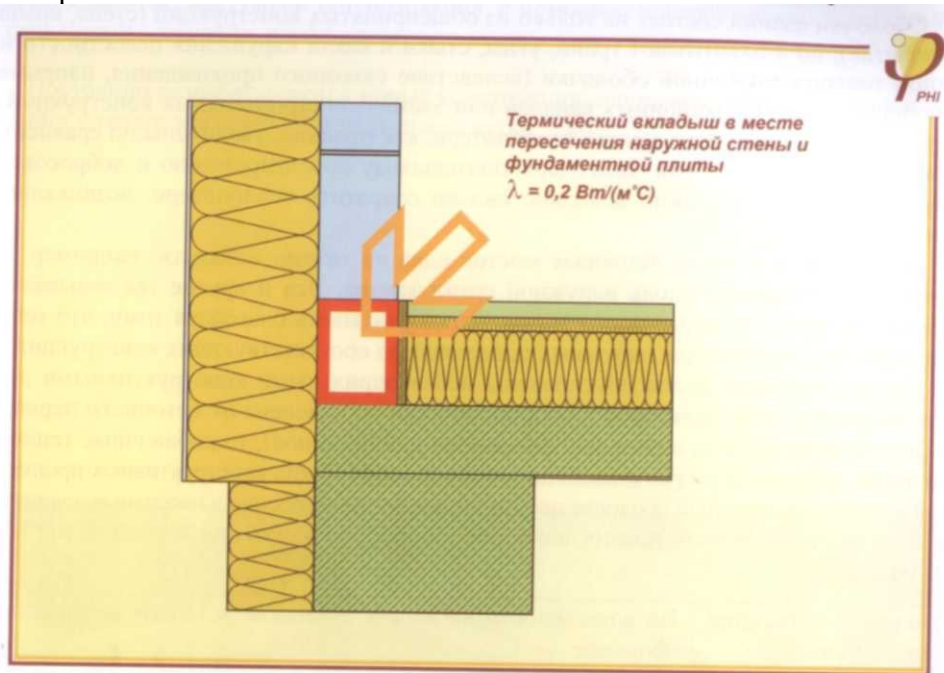


Рис. 8 Стык с минимальными теплопотерями между теплоизоляцией плиты перекрытия над подвалом и теплоизоляцией наружной стены

В интересах практического проектирования оболочек зданий мы оставляем в пассивном доме по традиции в качестве расчетной основы наружный размер, как это было во всех прежних редакциях Постановления по теплозащите. Вследствие этого расчет становится, в общем, гораздо проще. Правда, теряется информация о распределении отопительной нагрузки, но это не имеет существенного значения в пассивном доме.

При использовании наружного размера коэффициенты, учитывающие теплопотери от линейных тепловых мостов, часто становятся отрицательными, в особенности часто для наружных граней. Тогда расчет теплопотерь упрощается и сводится к учету теплопотерь только через наружную площадь теплоизоляционной оболочки. «Отрицательный» эффект образования тепловых мостов в таких часто возникающих ситуациях может быть скомпенсирован некоторыми другими тепловыми мостами (например, ниши, оконные примыкания).

Общие удельные теплотери суммируются из обычных потерь через поверхности наружной оболочки ($U \cdot A$ = коэффициент теплопередачи • площадь) и потерь, учитывающих эффект тепловых мостов. Точечные образования тепловых мостов тут, как правило, несущественны, поэтому они в дальнейшем детально не рассматриваются.

«Конструирование без тепловых мостов» определяется следующим образом: влияние, вызванное «тепловыми мостами», должно быть очень мало или равно нулю. Тогда допустимо сначала совсем не включать в расчет эффект, вызванный тепловыми мостами, и этим существенно упростить расчет. Теплотери определяются традиционной суммой всех ($U \cdot A$).

Проверка определения «без тепловых мостов» сводилась бы всегда только к необходимости подробно рассчитать все детали. Кроме того, это помогает создавать упрощенные критерии для «конструирования без тепловых мостов». Первый шаг заключается в том, что такие детали с самого начала необходимо классифицировать как «без тепловых мостов», если выполняется условие

$$\Psi_a \leq 0,01 \text{ Вт/мК},$$

где Ψ_a - это коэффициент, учитывающий теплотери через линейные тепловые мосты и относящийся к наружным размерам (здания, ограждающей конструкции. - *Прим. перев.*), это теплотери, превышающие нормативные и приходящиеся на 1 м длины при разности температур 1 кельвин (или Ψ_a - это **линейный коэффициент теплопередачи**)*. Коэффициенты Ψ_a со значением меньше 0,01 Вт/мК всегда могут приводить к определенным положительным приращениям, которые, разумеется, можно считать «пренебрежимо малыми». Кроме того, остающиеся приращения в некоторой мере компенсируются другими соединениями, в которых есть отрицательные линейные коэффициенты теплопередачи. Условие относится ко всем структурам, таким как стыки (соединения), грани и отдельные нарушения целостности наружной теплоизоляционной оболочки. Регулярные «помехи», которые появляются в наружных строительных элементах длиной более 2 м на 1 м² нормативной площади, должны приниматься во внимание уже с учетом нормативных коэффициентов теплопередачи - U (например, часто установленные стойки, применяемые в деревянных стропильных или панельных конструкциях).

Подробное описание принципов «конструирования без тепловых мостов» можно найти в литературе [Feist 1999].

5. Воздухонепроницаемая оболочка

Наружные оболочки зданий должны быть воздухонепроницаемыми. Этот принцип прост и не подлежит сомнению: он уже давно установлен в соответствующих строительных нормах DIN 4108. Но несмотря на это, никакое другое свойство оболочки здания не вызывает столько ожесточенных споров, как воздухонепроницаемость. Ядром проблемы является неправильное представление - распространенное убеждение, что через неплотности наружной оболочки здания (швы, стыки, зазоры) можно гарантировать в квартирах достаточную приточную и вытяжную вентиляцию. Это заблуждение! Воздухообмен через негерметичные швы в наружных стенах изменяется в зависимости от напора ветра и температурных колебаний в крайне широкой области. В самых негерметичных зданиях, в которых при несильном ветре уже значительно начинает сквозить, в безветренные, мягкие погодные периоды воздухообмен недостаточен. На вентиляцию воздуха через неплотности швов как раз нельзя положиться! Однако воздушный поток через швы имеет веский недостаток: если через шов снаружи вовнутрь легко проходит воздух, то из-за напора ветра возможно попадание в конструкцию атмосферных осадков. Если воздушный поток проходит изнутри наружу, то эти последствия уже катастрофичны. Теплый влажный

воздух помещения охлаждается, проходя через шов; выходя наружу, он может уже не содержать прежнего процента влажности, так как в холодном воздухе содержится небольшой процент водяного пара. Лишняя влага конденсируется в шве, т.е. конструкция насквозь пропитывается влагой [Carlsson, Elmroth 1980]. Через такую конвективную транспортировку пара в строительную конструкцию попадает гораздо больше влаги, чем в результате диффузии пара, которая в настоящее время часто обсуждается, но тем не менее в большинстве случаев является естественной и безвредной при правильном проектировании. Очень большой процент всех строительных повреждений связан с негерметичной оболочкой здания. Следующие недостатки такой вентиляции - это плохая звукоизоляция и излишне высокие теплопотери.

Так как неплотности швов приносят больше вреда, чем пользы, то уже в «обычных» зданиях оболочки должны быть воздухонепроницаемыми. А в пассивных домах тем более должна быть отличная герметичность оболочки. Необходимый воздухообмен здесь обеспечивается системой вентиляции. Вентиляция через швы в этом случае стала бы нарушать работу системы вентиляции, и значительно возросли бы теплопотери, так как для проходящего через швы потока воздуха применение рекуперации бессмысленно.

Герметичность зданий легко измерить. Для этого служит так называемый «тест давлением». С помощью вентилятора, установленного в проем наружной двери или окна, создают во всем здании определенное разрежение (обычная величина разности давлений составляет 50 Па) (рис. 9). Измеряется количество воздуха, проходящего через неплотности внутрь помещения, когда в помещении создается пониженное давление. Это количество определяет утечку воздуха. Также расположение мест утечек воздуха можно точно определить с помощью осмотра наружной оболочки в характерных местах (подверженных воздухопроницанию. - Прим. перев.), которые обнаруживаются благодаря инфильтрации воздуха.

Строить здания достаточно герметичными не так уж и сложно. Добросовестное проектирование является в данном случае решающим условием [Peper/Feist 1999].

Достаточно герметичной уже является, например, классическая кирпичная наружная стена, если она покрыта сплошной внутренней штукатуркой, выполненной без разрывов. Внутренняя штукатурка в таком случае должна быть сплошной от чистого пола до низа перекрытия. Также должно быть оштукатурено за лестницей (между лестничным маршем и стеной. - *Прим. перев.*), даже если «этого не видно». Деревянные конструкции (такие как крыша с висячими стропильными фермами) будут герметичными в плоскости, если сплошная полиэтиленовая пленка закрывает всю поверхность теплоизоляции. Полотна пленки необходимо склеивать тщательно и надежно, используя двустороннюю самоклеящуюся уплотнительную ленту на бутилкаучуковой основе. Оконные стекла и бетонные перекрытия являются также герметичными.

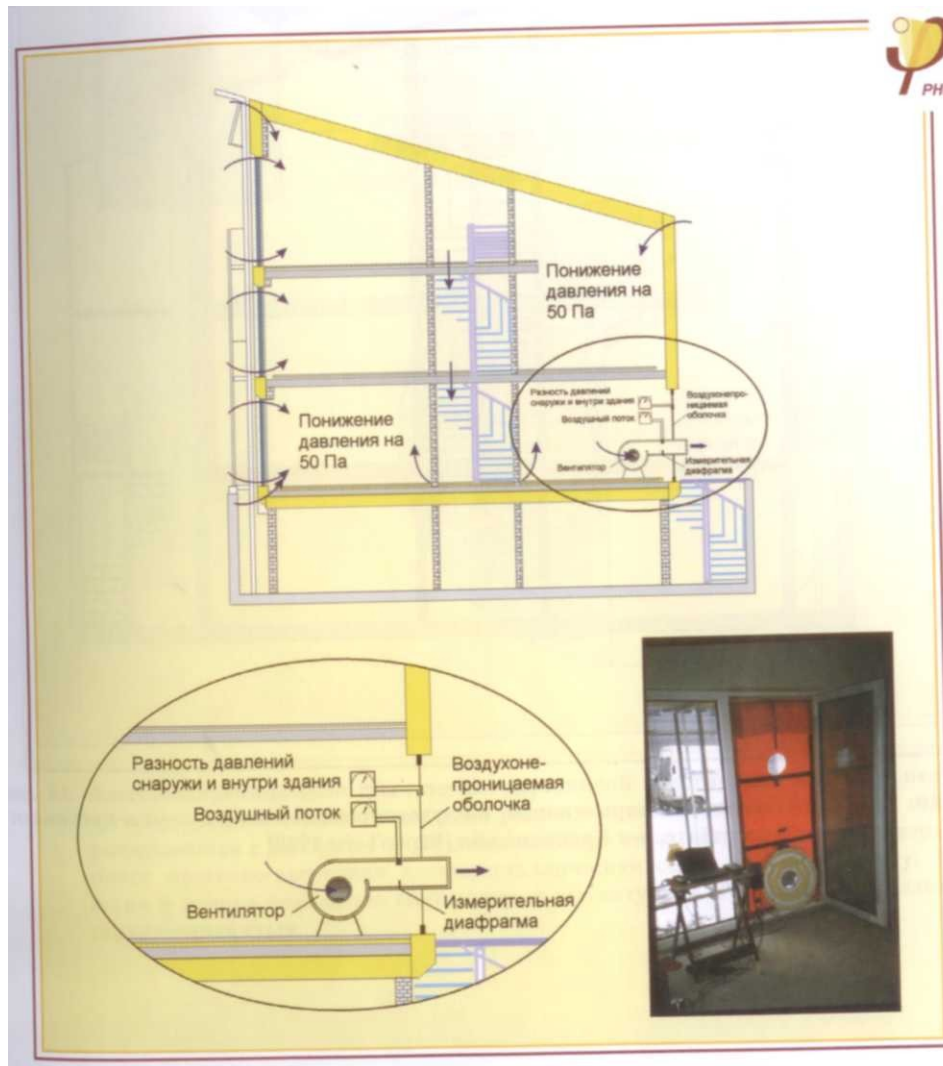


Рис.9. Тест давлением в пассивном доме [Peper/Feist 1999]

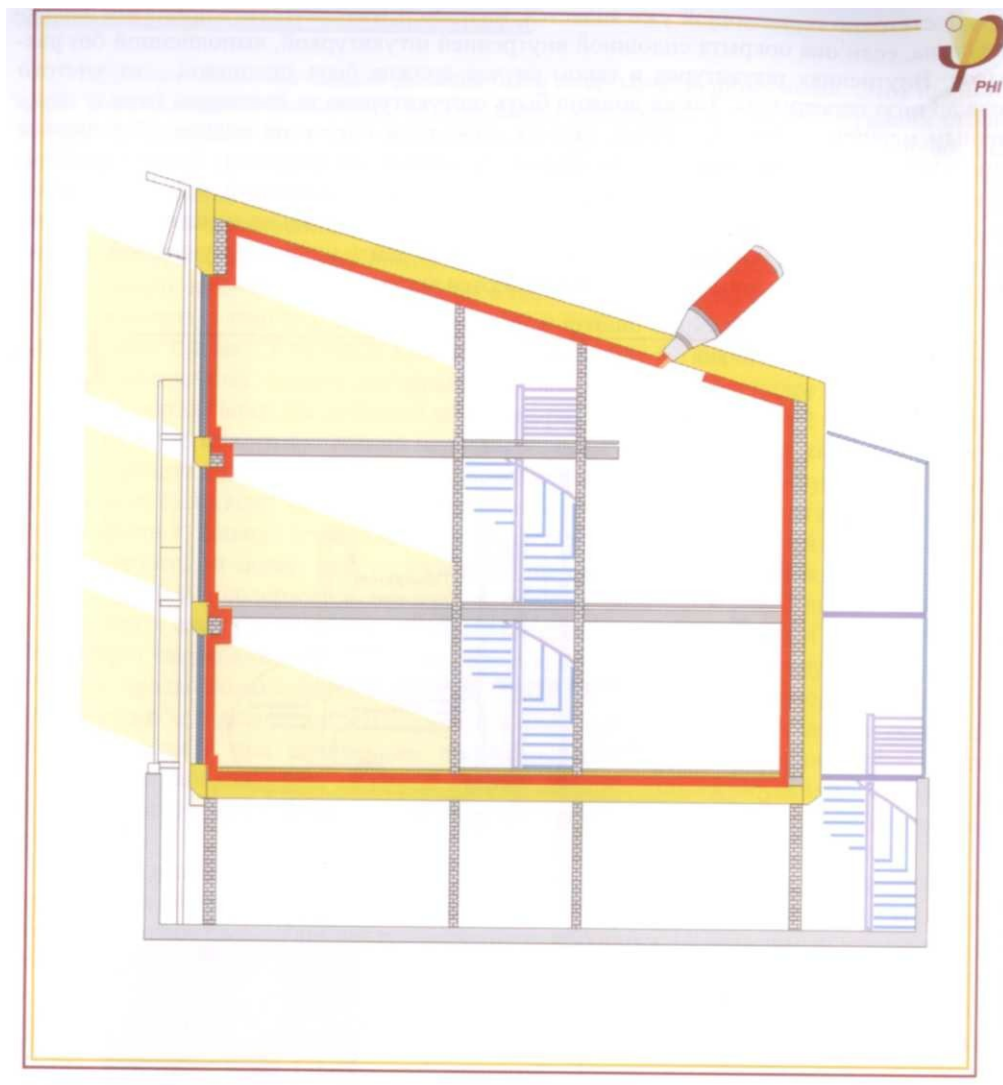


Рис.10. Закрытая, полностью герметичная, воздухонепроницаемая оболочка пассивного дома в г.Дармштадте, р-н Кранихштайн [Peper/Feist 1999]

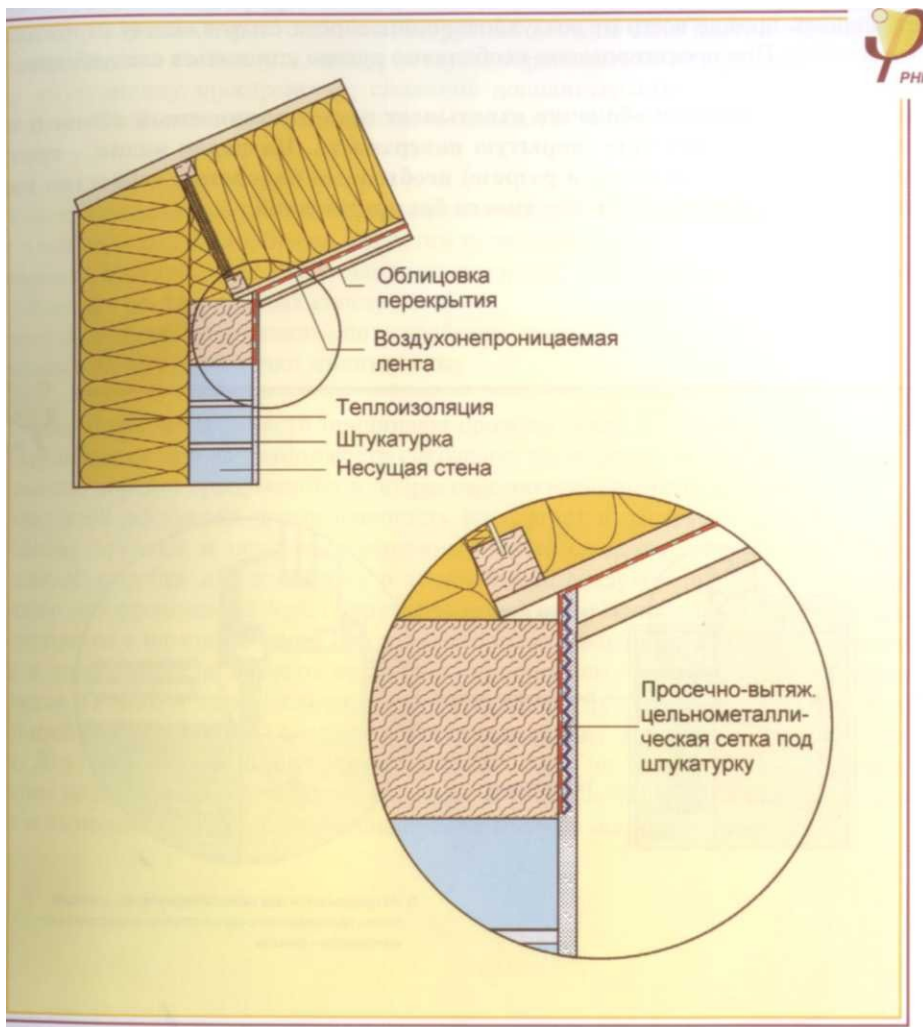


Рис. 11. Воздухонепроницаемый стык легкой деревянной конструкции кровли с несущей оштукатуренной стеной. Узел легко решен в новом исполнении: пленка сначала укладывается с выступом 8...20 см на несущую стену. Поверх пленки к стене крепится просечно-вытяжная цельнометаллическая сетка под штукатурку. Далее сетка и пленка полностью покрываются штукатуркой. Так возникает надежный герметичный стык

Если один раз выбрать основные герметичные конструкции, тогда все остальное будет зависеть прежде всего от воздухонепроницаемости стыков между строительными элементами. При проектировании необходимо руководствоваться следующим:

*** воздухонепроницаемая оболочка охватывает весь отапливаемый объем и представляет собой полностью закрытую поверхность. Наглядно видно - внутренний объем здания (на плане и разрезе) необходимо полностью «обвести» карандашом вдоль герметичной поверхности без прерываний.**

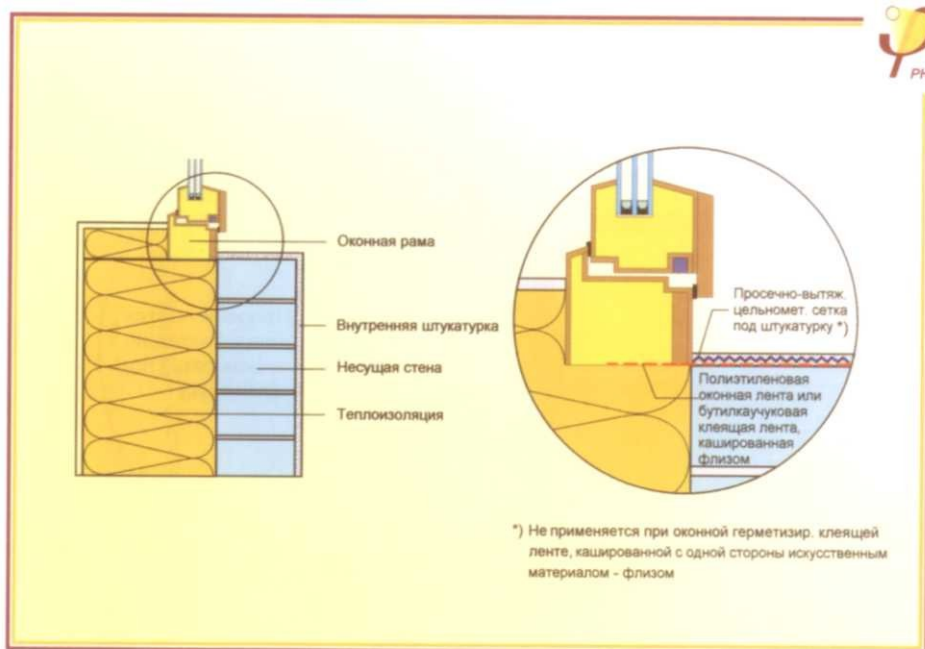


Рис. 12. Воздухонепроницаемый стык оконной рамы с внутренней штукатуркой несущей стены. «На самом деле» сегодня внутренняя штукатурка наносится вплотную, прямо до оконной рамы. Край штукатурки тем не менее почти всегда отходит. Надежный и герметичный стык в данной ситуации следует изготавливать следующим образом: примерно на расстоянии в 10 мм от рамы устанавливается шина-заглушка примыкания штукатурки, которая герметично связывается со штукатуркой. Шов между шиной и рамой заполняется долговечным эластичным материалом. Еще проще сделать прорезь с помощью кельмы*. Альтернативой является также специальная клеящаяся лента под последующее оштукатуривание.

Все это дает ясное представление, что в любом случае воздухонепроницаемые поверхности различных строительных конструкций должны быть плотно соединены друг с другом. Должна возникнуть единая воздухонепроницаемая поверхность-оболочка по всему внутреннему пространству; сложение дополнительных герметичных участков без общего герметичного соединения в плоскости с этой поверхностью не имеет смысла.

Как показывает опыт, воздухонепроницаемости легко достичь, если:

- все элементы запроектированы в простом исполнении;
- возможно выполнить большие замкнутые поверхности с применением надежных и испытанных ранее основных конструкций;
- строго выполняются принципы по устройству стыков;
- сквозные проколы оболочки минимальны.

Очень большие трудности причиняют проколы (разрывы) герметичной оболочки, поэтому имеет смысл по возможности сокращать такие проколы или ограничивать их в небольших, хорошо продуманных и добросовестно выполненных для этого местах. Для решения этой проблемы промышленность предлагает в настоящее время в большом количестве простые и недорогие вспомогательные средства: воздухонепроницаемые монтажные коробки для электрики и специальные

воздухонепроницаемые манжеты, например для проходящих через наружную стену труб. Испытанным способом является уплотнение с помощью гипса или пластичного раствора. Перекрытия из деревянных балок в этом случае не создают неразрешимую проблему: каждый оголовок балки заполняется в стыке со стеной слоем штукатурки. Иначе пустотелое перекрытие образует идеальный (недопустимый) воздушный распределитель, что ведет к потере герметичности. Другой пример - санитарно-технический блок (например, в ванной комнате) с большим количеством монтажных отверстий. В этом случае перед монтажом оборудования и выполнением облицовки стена предварительно оштукатуривается.

6.Пассивное использование солнечной энергии

Окна пассивных зданий работают как солнечные коллекторы - теплопоступления от пассивного использования солнечной энергии вносят основной вклад в возмещение теплопотерь.

Цель состоит не в том, чтобы любой ценой получить максимально возможное количество солнечной энергии, а в большей степени в том, чтобы по возможности сохранять на минимальном уровне недостающую потребность в энергии на отопление. Если имеется здание, которое нуждается в совсем небольшом активном подтапливании (безразлично, каким способом), тогда такое здание в Средней Европе вообще не нуждается в потреблении тепла летом и в переходные периоды с марта по ноябрь. Основным периодом для подтапливания являются зимние месяцы - декабрь, январь и февраль. Впрочем, построенные и эксплуатируемые пассивные здания, кроме этих трех месяцев, фактически не нуждаются в отоплении. К сожалению, солнечной энергии в этот зимний период для Средней Европы недостаточно.

Следующая климатическая проблема обостряет ситуацию. В эти зимние месяцы солнечная радиация незначительна и температура окружающей среды тоже низкая. Вследствие этого максимальны и теплопотери. Даже самые лучшие светопропускающие строительные элементы до сих пор имеют явно более высокие коэффициенты теплопередачи, чем непрозрачные стены или кровли; типичные для пассивного дома коэффициенты теплопередачи: $U_{\text{стены}} = 0,15 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ и $U_{\text{остекления}} = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. Поэтому остекления, площади которых увеличены с целью (большого) пассивного использования солнечной энергии, неизбежно приводят и к более высоким теплопотерям. Решающим является только баланс между используемыми теплопоступлениями от солнечной энергии и дополнительными теплопотерями в основные зимние месяцы.

Только из этих рассуждений уже становится ясно, какие принципы необходимы для пассивного использования солнечной энергии в пассивных зданиях:

- теплопотери через прозрачные поверхности должны быть незначительными. Необходимы высококачественные остекления, которые имеют высокую пропускающую способность солнечной энергии, но прежде всего - низкий коэффициент теплопередачи (U);
- прочие потери по периметру окна должны быть незначительными: тепловые мосты в месте соединения остекления с оконной рамой (по краям остекления), а также в месте примыкания оконной рамы и наружной стены значительно повышают теплопотери;
- также должна быть возможность теплопоступлений от использования солнечной энергии через прозрачные поверхности: это означает прежде всего необходимую ориентацию (юг для зимних месяцев идеален) и отсутствие препятствий, дающих тень. Строительные элементы, расположенные перед фасадом и дающие тень, не пропускают солнечные лучи. В этом случае остекление не может выполнять функции коллектора и всегда будут иметь место высокие теплопотери.

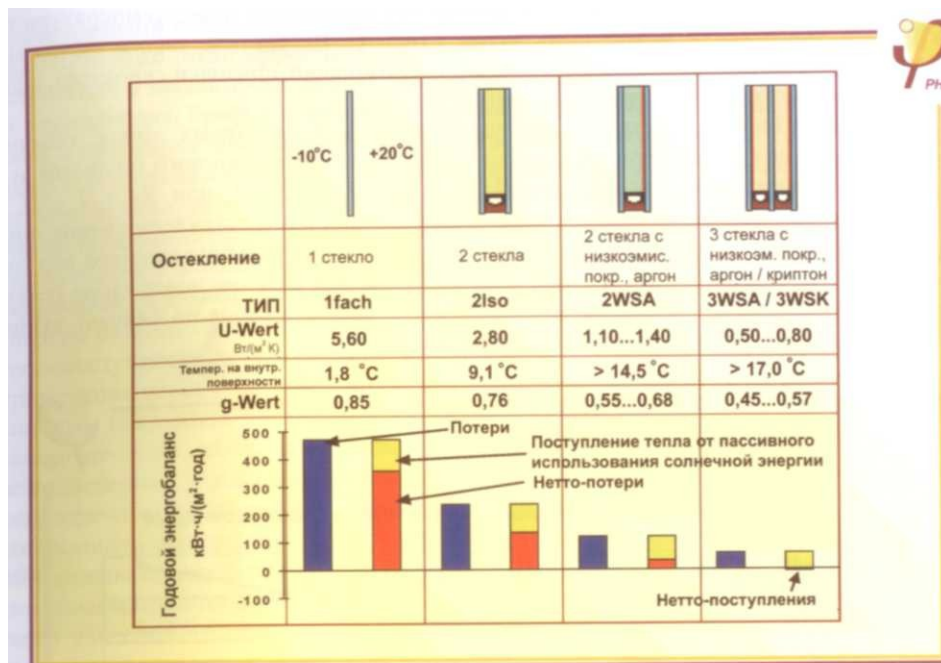


Рис. 13. Развитие остеклений ведет к постоянно сокращающимся теплотерям и к все большему комфорту: данные температуры на внутренней поверхности остекления рассчитаны в таблице для наружной температуры -10 С и внутренней +20 С. (2WSA - стеклопакет с двумя стеклами и с одним низкоэмиссионным покрытием на втором стекле (покрытие со стороны межстекольного пространства), заполнение камеры стеклопакета - аргон; 3WSK или 3WSA - стеклопакет с тремя стеклами с двумя низкоэмиссионными покрытиями на первом и третьем стеклах (покрытия обращены внутрь межстекольного пространства), заполнение камер стеклопакета - криптон или аргон; U – Wert - коэффициент теплопередачи. Вт/(м²К); g-Wert - коэффициент общего пропускания солнечной энергии. - Прим. перев.)

За последние 30 лет произошло очень сильное развитие остеклений (рис. 13).

- До 1980 г. в большей части Средней Европы использовался простой тип остекления с $U = 5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ($R_o = 0,17 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$). Часто на внутренней поверхности окна зимой появлялись ледяные узоры.
- С 1984 по 1995 г. обычно использовали двойное остекление с E1, равным около $3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ($R_o = 0,33 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$). Благодаря этому теплотери стали примерно в два раза меньше, но все же постоянно образовывался конденсат на внутренней поверхности стекла.
- С 1990 г. быстро растет рынок остеклений с повышенными теплоизоляционными свойствами (два стекла, одно с низкоэмиссионным покрытием, заполнение аргоном), которые имеют $U = 1,2...1,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ($R_o = 0,83...0,63 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$). С введением изменений в Постановлении по тепловой защите с 1995 г. эти остекления стали обязательными практически для всех новостроек и при реконструкции старых зданий (сегодня это составляет примерно 90% всего рынка Германии). Это двойное остекление с низкоэмиссионным покрытием недостаточно для пассивного дома: температура на внутренней поверхности может быть менее +14,5 С. Вследствие такого заметного температурного перепада ухудшается комфорт и возникают признаки сквозняка, если под окном отсутствует отопительный прибор.
- Остекления, устанавливаемые на сегодняшний день в пассивных домах, обычно имеют три стекла (двухкамерные) с двумя слоями низкоэмиссионного покрытия и с заполнением криптоном или аргоном ($U = 0,5...0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, или $R_o = 1 / U = 2,0... 1,25 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$). Температура на внутренней поверхности остекления равна примерно температуре внутри помещения, и применение

отопительного прибора под окном становится ненужным. В Средней Европе теплопоступления через такие остекления с южной ориентацией, с малым затенением даже с декабря по февраль выше, чем теплопотери через эти остекления.

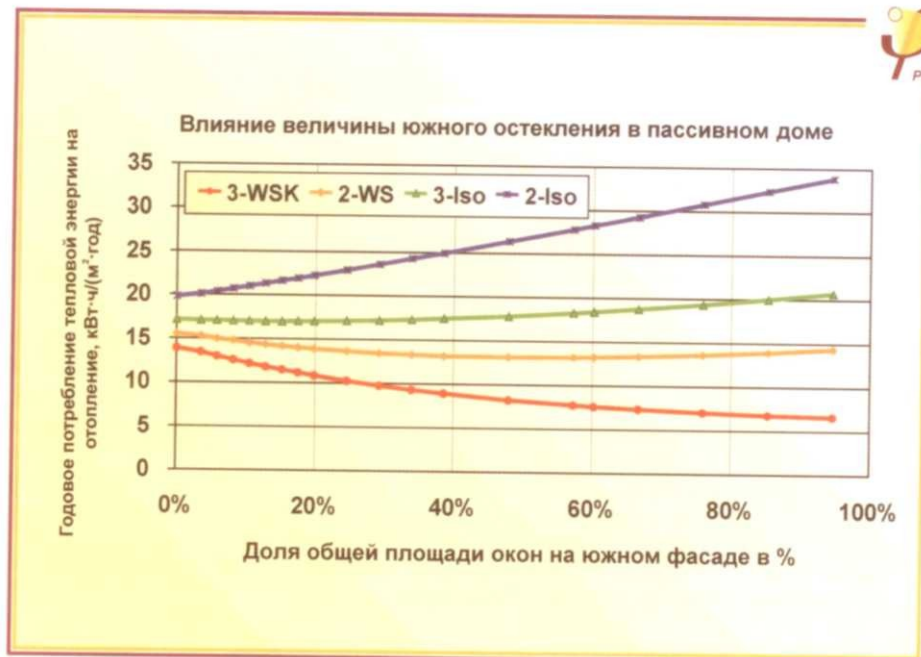


Рис. 14. Зависимость потребления незначительного количества тепловой энергии на отопление от величины остекления на южном фасаде на примере пассивного дома в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн; 3WSK: тройное остекление с низкоэмиссионными покрытиями, криптон; 2-WS: нормальное двойное остекление с низкоэмиссионным покрытием, аргон; 3-Iso: тройное остекление без защитного покрытия; 2-Iso: двойное остекление без защитного покрытия

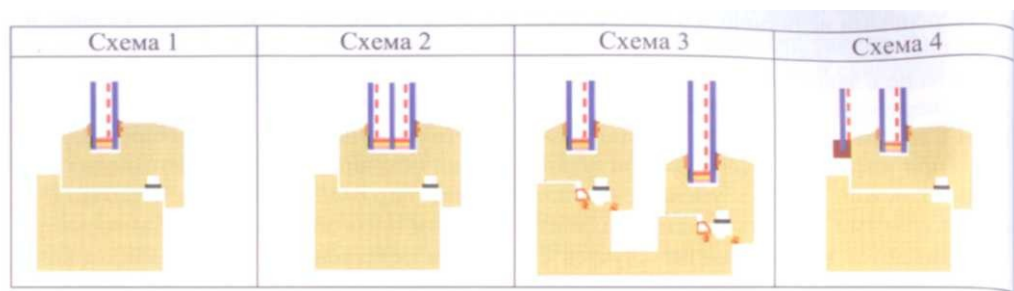
Как складывается энергобаланс между теплопоступлениями от солнечной энергии и теплопотерями, станет ясно, если представить незначительное потребление тепловой энергии на отопление как функцию, зависящую от доли площади южно-ориентированного остекления (рис. 14). Представленные на рисунке линии рассчитаны с помощью динамической расчетной модели DYNBIL для пассивного дома в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн. Результаты моделирования подтверждаются при сравнении с измеренными величинами в построенном пассивном доме; в расчетах принимались во внимание даже такие эффекты, как затенение от оконных рам, пропускание света через остекление в зависимости от угла наклона и зависимость коэффициента теплопередачи от температуры. График показывает, что с обычным двойным изолированным остеклением в пассивном доме невозможно достичь нетто-поступлений от солнечной энергии. Даже при идеальных условиях при использовании обычного тройного остекления также невозможно достичь уменьшения потребления тепловой энергии на отопление. С используемыми сегодня окнами в зданиях с низким энергопотреблением, которые устанавливаются в большинстве случаев с двойным остеклением и низкоэмиссионным покрытием, все-таки достижимы некоторые пассивные поступления от солнечной энергии при использовании небольшой доли остекления от общей площади. Реальные теплопоступления от пассивного использования солнечной энергии наступают при применении остекления высокого качества, например тройное остекление с низкоэмиссионным покрытием (называемое также «остекление для пассивного дома»). С окнами такого качества, имеющими большую площадь, южную ориентацию и практически незатененными, показатель энергопотребления снижается в два раза по сравнению с непрозрачными (без окон), суперизолированными зданиями. Нетрудно заметить, что возможность использования

солнечного излучения уже при площади остекления около 40% сильно ослабевает. После резкого возрастания сбережения энергии вначале, с ростом площади остекления наступает насыщение. Дополнительная экономия энергии через удвоение площади остекления с 40% до 80% пренебрежительно мала (причина также в том, что зимой всегда есть входящие, непригодные для использования излишки солнечного тепла, которые приводят к повышенным температурам внутри помещения).

Выводы ясны: качество остекления явно является более важным, чем количество остекления (доля остекления от общей площади) [Feist 1994a]. Здесь необходимо также уточнить, что пассивные дома ни в коем случае не нужно любой ценой оснащать остеклениями с большими площадями южной ориентации.

Следующая таблица и схемы показывают возможные типы остеклений (без гарантии к точности данных), которые являются пригодными для установки в пассивных зданиях (на схемах 1-4 красной пунктирной линией показано расположение низкоэмиссионных покрытий. - Прим. перев.).

№ схе мы	Тип остекления	Коэфф. теплопередачи остекления U_g , $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, $[R_{\text{остекл.}},$ $(\text{м}^2\text{С})/\text{Вт}]$	Коэфф. общего пропускания солнечной энергии g , %
1	2 стекла с одним низкоэмис. покрытием / аргон (этот тип остекления при больших площадях не пригоден для пассивных зданий)	1,1...1,4 [0,91...0,71]	55...68%
2	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2*11 мм/криптон	0,5...0,7 [2...1,43]	45...57%
2	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2*16 мм/аргон	0,6...0,8 [1,66...1,25]	45...53%
3	Двойная оконная рама, два стеклопакета с двумя стеклами (2*2 стекла) с одним низкоэмис. покрытием на каждом / аргон	0,6 [1,66]	47%
4	2 стекла с одним низкоэмис. покрытием / аргон, и перед ними одно стекло с твердым покрытием (к - стекло)	0,8 [1,25]	50%



- Остекления, пригодные для пассивного дома, позволяют также в холодные зимние дни в Средней Европе иметь положительный баланс между поступающей солнечной энергией и теплопотерями через эти остекления.
- Даже в холодные периоды температуры на внутренней поверхности остекления продолжительное время остаются настолько высокими, что не возникает никакого заметного отвода тепла из помещения вследствие лучистого теплообмена

и никаких конвекционных движений, способных вызвать дискомфорт.

Пассивный дом:

- критерий комфорта для остекления: $U_g \leq 0,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$;

- энергетический критерий остекления: $U_g - 1,6 \text{ Вт/(м}^2\text{К)} \cdot g \leq 0$

Положительный баланс от солнечных теплопоступлений может значительно уменьшиться, если из-за плохих оконных рам и тепловых мостов в области окон недопустимо высоко возрастут теплопотери. Обычные оконные рамы имеют значения коэффициента теплопередачи 1,5...2 Вт/(м²К) (рамы 1-й группы). Теплопотери от 1 м: таких рам более чем в два раза превышают теплопотери от 1 м² остекления для пассивного дома, для которого коэффициент теплопередачи примерно равен 0,7 Вт/(м²К). Кроме этого, необходимо учитывать значительные тепловые мосты в местах соединения остекления с рамой. В таком случае, чтобы снова не потерять положительный баланс от солнечных теплопоступлений вследствие этих дополнительных теплопотерь, необходимо применять оконные рамы с высоким термическим сопротивлением. На рис. 15 показано сравнение двух окон.

Для обоих окон используется остекление, пригодное для пассивного дома (тройное остекление с двумя низкоэмиссионными покрытиями и с заполнением межстекольного пространства инертным газом). В то время как для левого окна с обычной оконной рамой усредненный коэффициент теплопередачи 1]к составляет 1,09 Вт/(м²К), то для правого окна с оконной рамой, пригодной для пассивного дома, этот коэффициент может быть ниже 0,8 Вт/(м²К). Эти хорошо изолированные рамы - новое открытие, которое получило толчок для развития в результате использования опыта в пассивном доме г. Дармштадта, р-н Кранихштайн. Впервые с помощью окон для пассивных зданий становится возможным пассивное использование солнечной энергии.

В пассивном доме требуется использование таких оконных рам, чтобы при монтаже остекления с $U_g = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ в оконную раму усредненный коэффициент теплопередачи окна U_w достигал значения $< 0,8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ (по методике согласно европейскому стандарту EN 10077). Обоснование этого критерия вытекает непосредственно из условий комфорта. В строительных проектах должно быть определено, среди прочего, как гарантировать монтаж этих окон в наружные стены пассивных зданий без тепловых мостов.

Критерии для выбора рам в пассивном доме: при коэффициенте теплопередачи для остекления $U_g = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, эффективный коэффициент теплопередачи окна с учетом монтажа в стене достигать $U_{w,eff} \leq 0,85 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

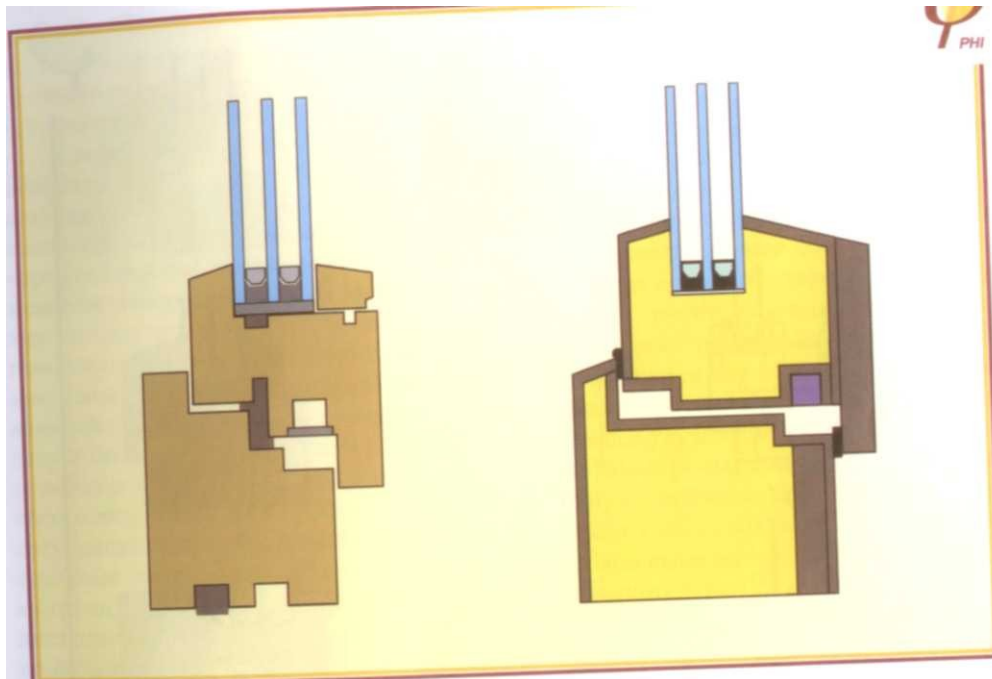


Рис. 15. Сравнение (схематическое): остекление для пассивного дома в стандартной деревянной раме (слева) приводит к значению U_w больше, чем 1,09 Вт/(м²К). Напротив, применяя специальные высокоизолированные рамы для пассивного дома (справа), для U окна достижимо значение менее 0,8 Вт/(м²К)

При этом эффективный коэффициент теплопередачи окна рассчитан по EN 10077, включает потери от тепловых мостов с учетом монтажа и рассчитывается по формуле:

$$U_{w,eff} = \frac{A_g U_g + A_f U_f + s_g \psi_g + s_{Einbau} \psi_{Einbau}}{A_w},$$

где U - коэффициенты теплопередачи (g - остекления, f - рам [frame], w - окон [window]); A - площади, ψ - линейные коэффициенты теплопередачи (коэффициенты, учитывающие теплотери через линейные тепловые мосты) и s - длины тепловых мостов (индекс « g » - ребро стекла; « $Einbau$ » - с учетом монтажа в стене).

Для изготовления таких теплоизолированных оконных профилей имеются различные конструктивные варианты:

- рамы с полиуретановой теплоизоляцией со статическими элементами жесткости из стальных, алюминиевых или стекловолоконных профилей;
- пластиковые профили для рам с двумя-тремя воздушными камерами на внутренней и наружной стороне соответственно, с внутренним расположением элемента жесткости;
- с рамы с наружной оболочкой из дерева, металла или пластика и с внутренним заполнением из вспененного пенополиуретана;
- деревянные окна с теплоизоляционным вкладышем из мягкой теплоизоляционной древесно-волоконной плиты или из бальзы;
- рамы из вторичного пенополиуретана.

Все альтернативные варианты сегодня можно изготовить промышленным способом на базе обычных производственных процессов. Для производства рам, соответствующих второму пункту, можно использовать как обычные производственные процессы на базе ПВХ-окон, так и альтернативные материалы на базе полиолефинов. Добавочные воздушные камеры на внутренней и внешней сторонах создают термическую теплоизоляцию этих рам. Вследствие защиты краев

остекления практически полностью устраняются тепловые мосты в стыке остекления и рамы.

Соединение по грани остекления создает термически слабое место. Это становится особенно ясным, если учесть, что при традиционном соединении граней через обе алюминиевые полосы соединяющих профилей (дистанционных рамок. - Прим. перев.) толщиной по 0,5 мм каждая на 1 м ширины переносится такое же количество тепла, как через остекление площадью 15,5 м² без подобного нежелательного соединения в промежутке между стеклами по грани остекления. Отсюда ясно, что «термическое короткое замыкание» в этом месте можно уменьшить, если вместо обычного соединения с помощью алюминиевого профиля применить термически разделяющую дистанционную рамку (например, дистанционная рамка из комбинации двух материалов - нержавеющей стали и высококачественного полипропилена. - Прим. перев.). На рынке существует большой выбор данной продукции. Дальнейшее улучшение в этом слабом месте возможно с использованием особой конструкции рамы: рамы, пригодные для пассивного дома, имеют на 10...25 мм большую величину заглубления края остекления (высоту защемления стеклопакета. - Прим. перев.), чем у обычных рам. Таким образом, тепловые мосты уменьшаются путем «упаковки». При выполнении заглубленного стыка грани остекления с рамой по сравнению с вышеупомянутым случаем (алюминиевая дистанционная рамка, нет защиты краев остекления) приводит к снижению примерно до 80% значений теплопотерь от тепловых мостов (понижения линейных коэффициентов теплопередачи до 80%).

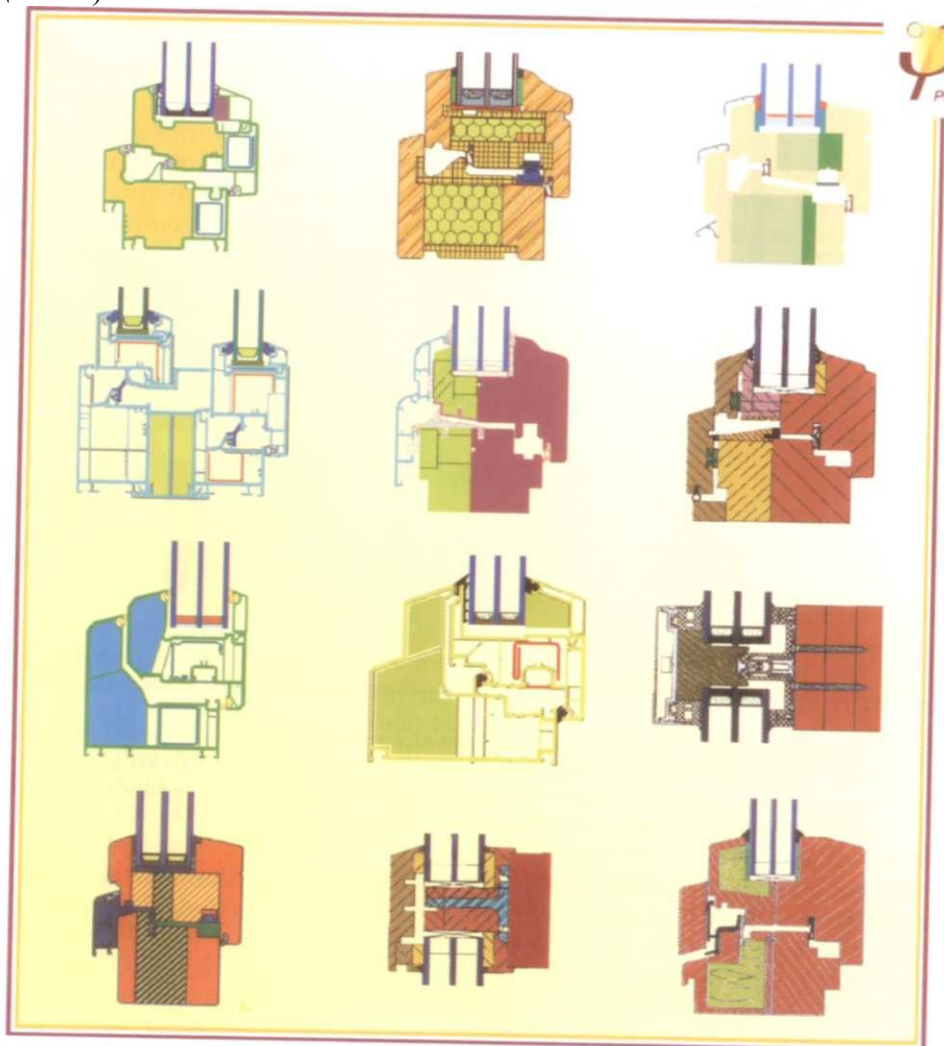


Рис. 16. Примеры оконных рам, пригодных для пассивного дома. Используются высокоэффективные технологии, разработанные специально для пассивного дома; постоянно появляются новые типы подобных окон

Неправильной является установка окна (с тройным остеклением с низкоэмиссионным покрытием с обычной, используемой сегодня стандартной рамой) в 175-миллиметровой стене из силикатного кирпича с утеплением толщиной 300 мм в плоскости таким образом, что наружная сторона окна расположена заподлицо (в одной плоскости) с наружной стороной кирпичной стены. В данном случае теплоизоляция вообще не перекрывает раму! Это очень неблагоприятный стык, который реально возможен. К сожалению, часто применяется еще один вариант, когда окно располагают еще в более неблагоприятном месте в наружной стене (например, смещая еще дальше внутрь кирпичной стены). В то время как внутренняя поверхность остекления, не подверженная негативным факторам, имеет температуру около $+16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ при наружной температуре минус $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура на внутренней поверхности по кромке остекления понижается до $+5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также типичные температуры на внутренней поверхности Ремы (температуры рамы соответственно в уровне узла соединения края остекления с Рамой, в середине рамы и монтажный стык рамы с наружной стеной) находятся между $+11,6\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +14\text{ }^{\circ}\text{C}$ - это явно ниже, чем в правильно установленных окнах. Эти низкие температуры показывают, что теплотери такого окна значительно выше, чем можно было бы ожидать при используемом высококачественном остеклении. Высока опасность образования конденсата по краям остекления. У окна ($h \times b = 1230\text{ мм} \times 1480\text{ мм}$) результирующий эффективный коэффициент теплопередачи (-1^{\wedge} оказывается равным $1,82\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$. Эта величина является заметной. При еще меньшей площади остекления (с размерами меньше $1\text{ м} \times 1\text{ м}$) общий коэффициент теплопередачи $U_{w, \text{eff}}$ получается выше, чем $2,0\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$. Поэтому не всегда проявляется высокое качество тройного остекления с низкоэмиссионным покрытием.

Напротив, на рис. 17 показан реализованный уже в 1991 г. вариант установки окна в пассивном доме г. Дармштадта. Окно с тройным остеклением и с низкоэмиссионным покрытием монтируется снаружи, перед кирпичной стеной, с помощью маленьких металлических пластин или уголков соответственно на консоли из пуренита (высокопрочный пенополиуретан. - *Прим. перев.*) или дерева. Поэтому окно расположено в благоприятной зоне, внутри 300-миллиметровой теплоизоляционной системы. Данная теплоизоляция дополнительно перекрывает блок рамы по высоте на 68 мм. Результат убедителен - эффективный коэффициент теплопередачи окна снижается и становится менее $0,8\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$.

Архитектурные решения остекления возможны таким способом, что одну часть остекления выполняют глухим (неоткрывающимся). Такое остекление может составить единое целое с теплоизоляционной оболочкой, то есть свободно выходить из непрозрачной оболочки и в ней же заканчиваться. Благодаря этому можно значительно снизить теплотери по краям окон и создать еще большую долю прозрачных элементов. Тем не менее проектировщик должен предусмотреть, чтобы на каждом фасаде была возможность создать достаточно большие открывающиеся элементы с целью желаемого контакта с наружной средой и возможности целенаправленного летнего сквозного проветривания.

Теплопоступления от пассивного использования солнечной радиации необходимы прежде всего зимой. Сравнение этих теплопоступлений на различно ориентированные поверхности показывает, что южное направление зимой оказывается наилучшим. К тому же зимой солнце стоит так низко, что прохождение солнечных лучей через окно происходит почти перпендикулярно и проникновение энергии очень благоприятно. Малоизвестен, но также важен тот факт, что остекление южной ориентации оптимально также и летом: над южным фасадом солнце в середине лета в наших широтах (Германия. - *Прим. перев.*) восходит сначала поздно, потом стоит очень высоко, так, что едва касается южного фасада с совсем небольшой энергонагрузкой, и снова быстро заходит. Поэтому солнечная нагрузка при южно ориентированных оконных поверхностях летом мала и не оказывает влияния на внутренний

микроклимат. Неблагоприятными для окон являются восточная и западная ориентации. Важно для таких окон не только то, что солнечное излучение зимой очень мало, негативны прежде всего высокие теплопоступления от солнечной радиации летом. Эти теплопоступления труднее ослабить, используя затенение, чем при окнах, ориентированных в южном направлении. Северное остекление не имеет этих недостатков, но имеет малые теплопоступления зимой. Отсюда следует, что площадь северных окон не должна быть слишком большой.

Стандартный путь к пассивному дому ведет к ориентированным на юг, почти незатененным окнам с тройным остеклением, низкоэмиссионным покрытием; окна должны быть не очень большими по площади, с качественно утепленными оконными рамами, при малой величине отношения площади самой рамы к площади остекления.

Кроме этого решения также вполне привлекательными являются другие принципе подходы к которым здесь необходимо добавить еще некоторые уточнения. *
* Выступающие части здания из стекла часто становились декорацией экологического строительства. Опыт с большими зимними садами показал, что достижимая экономия энергии на практике мала, к тому же наружное остекление здания очень дорогое.

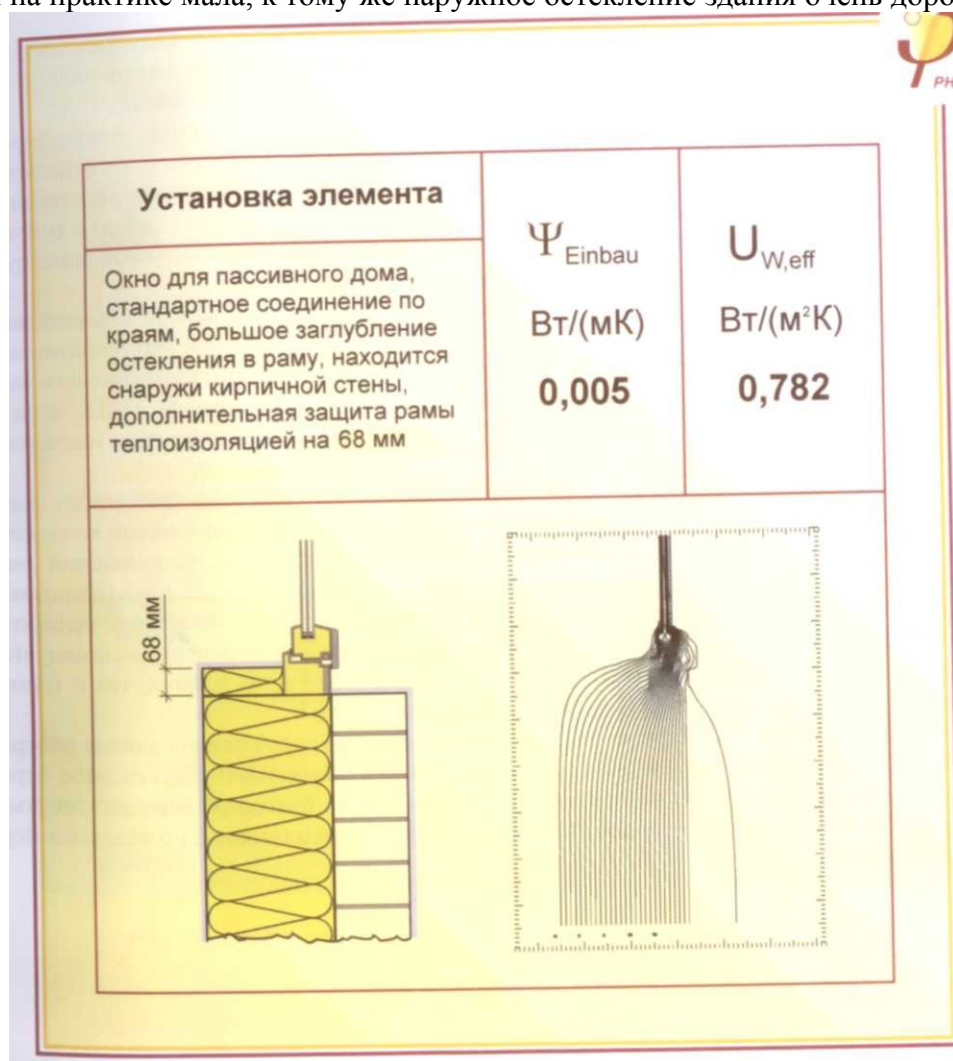


Рис. 17. Изолированная рама, установка в область теплоизоляции и распределение изотерм в этом соединении

Применять наружное остекление фасадов только из соображений экономии энергии нерентабельно. Если по другим причинам все-таки хочется иметь зимний сад, то при проектировании необходимо проработать следующие моменты:

- нужно избегать больших поверхностей остекления в восточном и западном направлениях и плоских наклонных остеклений (летняя жара!);
- предусмотреть возможность затенения и естественного проветривания летом;
- обращать внимание зимой на затенение частей здания, расположенных позади зимнего сада. Может быть, что в здании будет невозможно или затруднено пассивное использование солнечной энергии;
- к теплоизоляционной оболочке здания, примыкающей к зимнему саду, необходимо предъявлять высокие требования, соответствующие стандарту пассивного дома, так как в зимнем саду может быть очень холодно (см. последний пункт);
- необходимо проектировать стеклянные пристройки к фасаду здания неотапливаемыми. Если пристройка из остекления отапливается, то потребность на отопление очень высока. Тогда стандарт пассивного дома достигим только с использованием специального остекления (соответствующего стандарту пассивного дома) с хорошо теплоизолированными рамами. В настоящее время существуют оконные конструкции большой площади со стойками и ригелями такого качества.

* Если необходимо установить очень эффективную систему, то можно использовать прозрачную теплоизоляцию (TWD). Применение является альтернативным способом использования солнечной энергии, при этом должна существовать возможность временного затенения. Абсорбер (кирпичная стена позади TWD) должен быть массивным. В настоящее время TWD-система намного дороже, чем высокоэффективные окна.

- Солнечные коллекторы могут также устанавливаться на южных, незатененных фасадах. Кроме активного использования солнечной энергии интегрированный коллектор также снижает теплотери фасада. В общем же коллекторы на сегодняшний день все-таки явно дороже, чем пассивные солнечные компоненты и обычная непрозрачная теплоизоляция. При необходимости установки воздушных солнечных коллекторов (вид солнечного коллектора, в котором в качестве теплоносителя используется воздух. - *Прим. перев.*) следует обеспечить как герметичность здания, так и герметичность системы коллектора.
- Интересным может быть также планировочное решение окружающих здание поверхностей: например, можно было бы предусмотреть (специально) естественное отражение солнечного и рассеянного света в северные окна благодаря вспомогательным постройкам на северной стороне. Такие постройки нетрадиционны, но являются перспективными.

7. Вентиляция: основное условие для создания комфортного микроклимата

Свежий воздух - это основа хорошего самочувствия и возможность соблюдения гигиенических требований к микроклимату в помещениях. «Естественная вентиляция» воздухом, поступающим через неплотности и щели, не может удовлетворительно обеспечить требуемый воздухообмен, так как такая вентиляция зависит от природных факторов, которые непостоянны. В негерметичном здании при сильном ветре возникает сквозняк, а при безветренной погоде приток свежего воздуха в том же здании часто недостаточен. Также направление проникающего воздушного потока часто является неблагоприятным. Например, на первом этаже тянет внутрь под входной дверью или через приоткрытое окно в туалете, далее воздух устремляется через всю квартиру и выходит наружу через негерметичные участки в кровле. Инфильтрация через неплотности, а также через форточки является поэтому в основном случайной вентиляцией и таким образом непригодна для пассивных зданий [Feist 1995-2].

Наличие CO₂ в воздухе в качестве критерия для хорошей вентиляции осознал Петтенкофер еще в начале 20 века. Подавляющее большинство пользователей оценивают качество воздуха при концентрации CO₂ ниже 0,1% как хорошее. Человек в

наших квартирах сам является главным источником CO_2 , поэтому требуется около 25...30 м³ свежего воздуха в час на одного человека.

В квартирах на 3...5 человек нормативное поступление свежего воздуха составляет 90...150 м³/ч. В обычном случае этот расход воздуха примерно соответствует нормативному расходу отработанного воздуха из туалетов (по 20 м³/ч), ванн (40 м³/ч) и кухонь (60 м³/ч). Благодаря непрерывному движению воздуха обеспечивается постоянное удаление влаги. В случае объединения системы вентиляции с вытяжным колпаком над кухонной плитой необходимо во время приготовления пищи обеспечить вытяжку минимум 150 м³/ч. Вентиляцию, которая удовлетворяет этим условиям, можно назвать требуемой. Подробные указания по расчету расхода воздуха на вентиляцию вы найдете в собрании протоколов рабочей группы по малозатратным пассивным домам, заседание № 17 [АК 17].

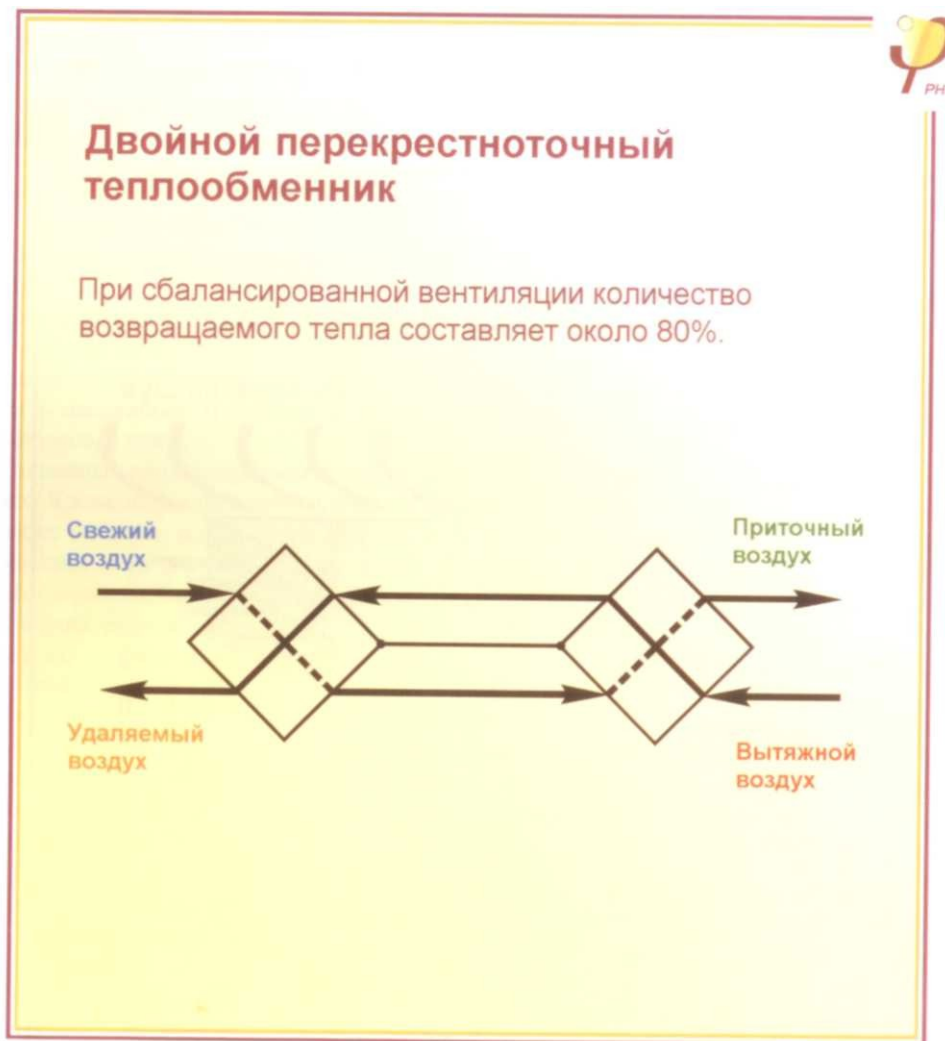


Рис. 18.2. Двойной перекрестноточный теплообменник

Противоточный теплообменник

С принципом противотока количество возвращаемого тепла достигает 75...95%.

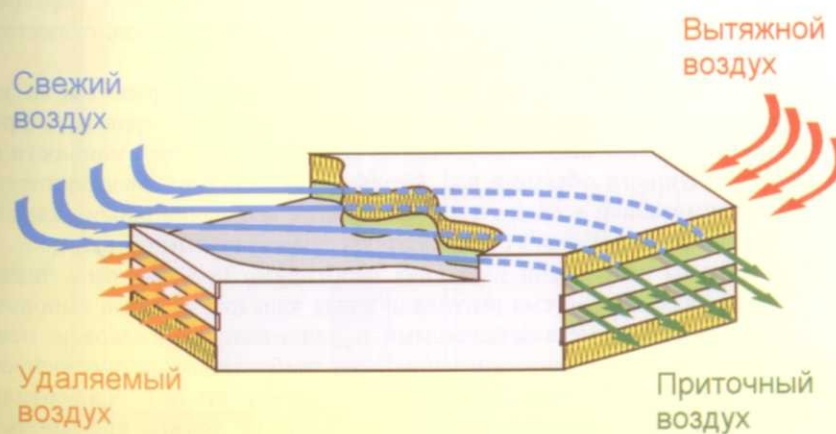


Рис. 18.3. Противоточный теплообменник



Рис.18.1. Принцип рекуперации тепла. Простой перекрестноточный теплообменник

Используя непостоянные природные факторы, невозможно реализовать требуемую вентиляцию. Как вариант, можно порекомендовать следующее простейшее решение для зданий с низким энергопотреблением: небольшая установка с маленьким вентилятором для постоянной вытяжки воздуха из влажных помещений (ванные комнаты, туалеты и кухни) и которая точно соответствует необходимому расходу. Если оболочка здания достаточно герметичная, свежий воздух устремляется через предназначенные для этого каналы в стенах общих комнат, столовой, детской и спальни. Для достижения благоприятного микроклимата в помещениях эти воздушные каналы должны быть смонтированы по возможности высоко и над отопительными приборами. Эта вентиляционная система является недорогой, эффективной и сравнительно простой.

Для зданий с низким энергопотреблением допустимы дополнительные теплопотери от вентиляции, однако для пассивных зданий это неприменимо. Например, мы рассчитываем теплопотери со средним расходом свежего воздуха $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ для семьи, состоящей из четырех человек, в квартире площадью 120 м^2 . Годовые теплопотери, которые приходятся на вентиляцию от приточно-вытяжной установки, составляют $28 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$; только одно это значительно больше, чем допустимый удельный расход тепловой энергии на отопление для пассивного дома, поэтому обязателен высокоэффективный рекуператор. Опыт с вентиляционными установками в зданиях с низким энергопотреблением и в пассивных зданиях приводит к следующим рекомендациям для вентиляционных систем, пригодных для пассивных зданий:

- сами здания должны иметь очень герметичную оболочку (см. гл. 5);
- рекуперация тепла должна быть высокоэффективной [АК 17]. Доля возврата

тепла (КПД) рекуператора должна составлять более 75%. Тогда дополнительные теплотери достаточно малы и описываемая в гл. 8 интегрированная система домашней техники удобна для использования. Доля возврата тепла более 75% достижима сегодня только с использованием больших теплообменников с принципом встречных потоков или с использованием комбинированных теплообменников с перекрестным потоком (рис. 18.2). В настоящее время только некоторые системы, существующие на рынке, соответствуют этим требованиям;

- потребление электрической энергии для вентиляции должно сохраняться на небольшом уровне - это касается самих вентиляторов, а также приборов регулировки и управления. Контрольное значение составляет 0,3...0,45 Вт общей мощности на требуемый 1 м³ воздушного объема в час. Столь малая величина электропотребления достигается оптимизацией всей системы (см. пункт с вентиляционными каналами) и применением высокоэффективных вентиляторов с равномерным потоком;
- устройство системы вентиляции в зданиях необходимо проектировать тщательно: целесообразной является система вентиляционных каналов, которые выполнены по возможности короткими, неразветвленными и малоизогнутыми. Можно использовать гладкостенные, отвечающие гигиеническим требованиям, воздухопроницаемые воздуховоды (например, спирально-навивные). Скорость потока в вентиляционных каналах, при нормальном режиме эксплуатации, не должна превышать 3 м/с. Поэтому для главных каналов гидравлический диаметр получается равным 150 мм и более. При правильном проектировании помещения, из которых удаляется вытяжной воздух, находятся относительно близко друг к другу, а помещения с приточным воздухом расположены компактно. Это позволяет рационально расположить магистрали воздуховодов приточного и вытяжного воздуха (можно обойтись одной главной ниткой воздуховода для приточного и одной для вытяжного воздуха. - *Прим. перев.*) Помимо этого, такое размещение имеет достоинство в том, что также другие трубопроводы других систем (холодная вода, горячая вода, канализация) могут быть короткими; это размещение уменьшает потери энергии и снижает капитальные затраты. Лучше всего разделить проект системы вентиляции в здании на три зоны (рис 19)" зона приточного воздуха (она охватывает, как правило, все жилые комнаты комнаты принятия пищи, детские, спальни и рабочие комнаты), переходная область (охватывает, например, коридоры и лестничную клетку) и зона вытяжного воздуха (здесь соединяются все влажные помещения и комнаты со специфической эксплуатацией, например комната для курения).

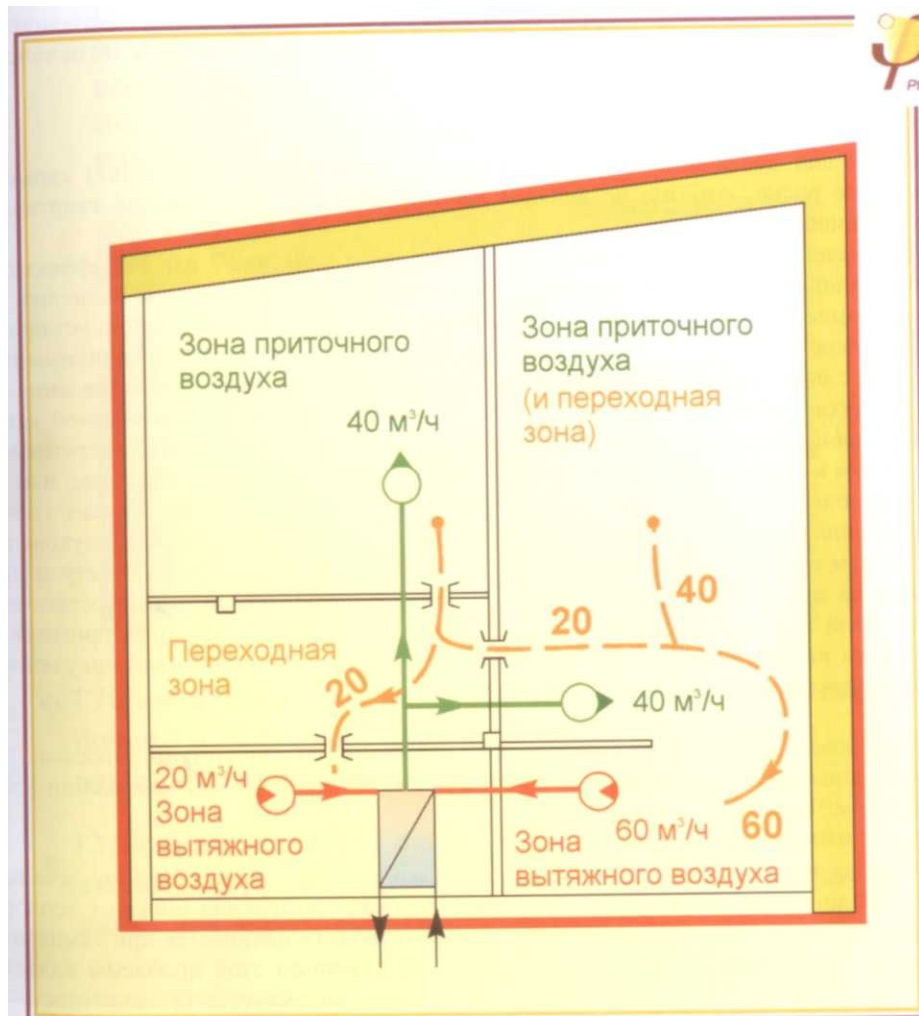


Рис. 19. Сечение квартиры в зоне приточного воздуха, переходной зоне и в зоне вытяжного воздуха в пассивном доме по проекту архитектора проф. Шнайдера, г. Кассель; источник: [АК18]

Все помещения для зон приточного и отработанного воздуха должны иметь вентиляционные отверстия достаточного размера, чтобы переток воздуха был возможен без помех даже при закрытых внутренних межкомнатных дверях. В качестве основного правила необходимо выполнять неперемное условие: скорость воздуха в проходных отверстиях не должна превышать 1 м/с. При выполнении этого требования устанавливается направленный воздушный поток из помещений с приточным воздухом, через промежуточную зону в помещения с вытяжным воздухом. Таким образом, в квартире с самого начала устраняется проблема распространения запахов и вредных веществ.

* Важным остается условие: вентиляционная установка служит преимущественно для воздушной гигиены! А поэтому необходимо обратить внимание на гигиенически безупречный воздуховод. Это означает, что:

- необходимо избегать режима рециркуляции воздуха;
- каждый вид добавочной воздухоподготовки (увлажнение, охлаждение) скрывает серьезные риски, которые не должны проявляться при использовании квартирной вентиляционной установки;
- высококачественный фильтр тонкой очистки (класс фильтра F7 или F8) эффективен при установке непосредственно в зоне после забора свежего воздуха. Выполняя это предписание, удалось обеспечить отсутствие грязи в вентиляционной установке. Воздуховоды через 10 лет остаются идеально чистыми и к тому же гигиеничными;
- в домах с индивидуальными вентиляционными системами пар от приготовления

пищи на кухне можно удалять через вытяжной колпак (с регулярной заменой жироулавливающего фильтра) и ответвления воздуховода с ревизионными отверстиями в вытяжном канале. Воздуховод с вытяжным воздухом, подведенный к кухне, или регулярно очищается, или время от времени заменяется, например, элемент гибкой трубы длиной 1,5 м. Это решение недопустимо, если к одной системе воздуховода с вытяжным воздухом подсоединено много квартир. В этом случае мы советуем применять на кухне отдельный вытяжной плафон, который находится на достаточном расстоянии от места приготовления пищи. Непосредственно над местом приготовления пищи необходимо установить защитный колпак для засасывания циркуляционного воздуха как отдельную систему.

Исследования в пассивном доме г. Дармштадта, р-н Кранихштайн, показали, что вышеперечисленные принципы приводят к хорошему качеству воздуха в помещении [Feist 1994c], [Feist/Werner 1994a].

Высокая доля возврата тепла (более 75%), согласно вышеизложенному, для пассивных зданий является необходимым условием. При применении больших теплообменников процесс обледенения в зоне удаляемого воздуха начинается при температурах окружающей среды ниже -5°C . Возможным решением этой проблемы является применение грунтового теплообменника. Для этого укладывается (в зависимости от размера квартиры) от 1 до 5 трубопроводов примерно 12...30 м длиной в траншее, приблизительно на 1 м ниже фундаментной плиты здания. Трубы служат для подачи предварительно очищенного наружного воздуха (рис. 20).

Вследствие этого даже при очень низких температурах свежий воздух зимой подается до $1-10^{\circ}\text{C}$. Дальнейшая защита от мороза является излишней. При эксплуатации грунтовых теплообменников из гигиенических соображений очень важно избегать конденсации влаги [Feist 1994c].

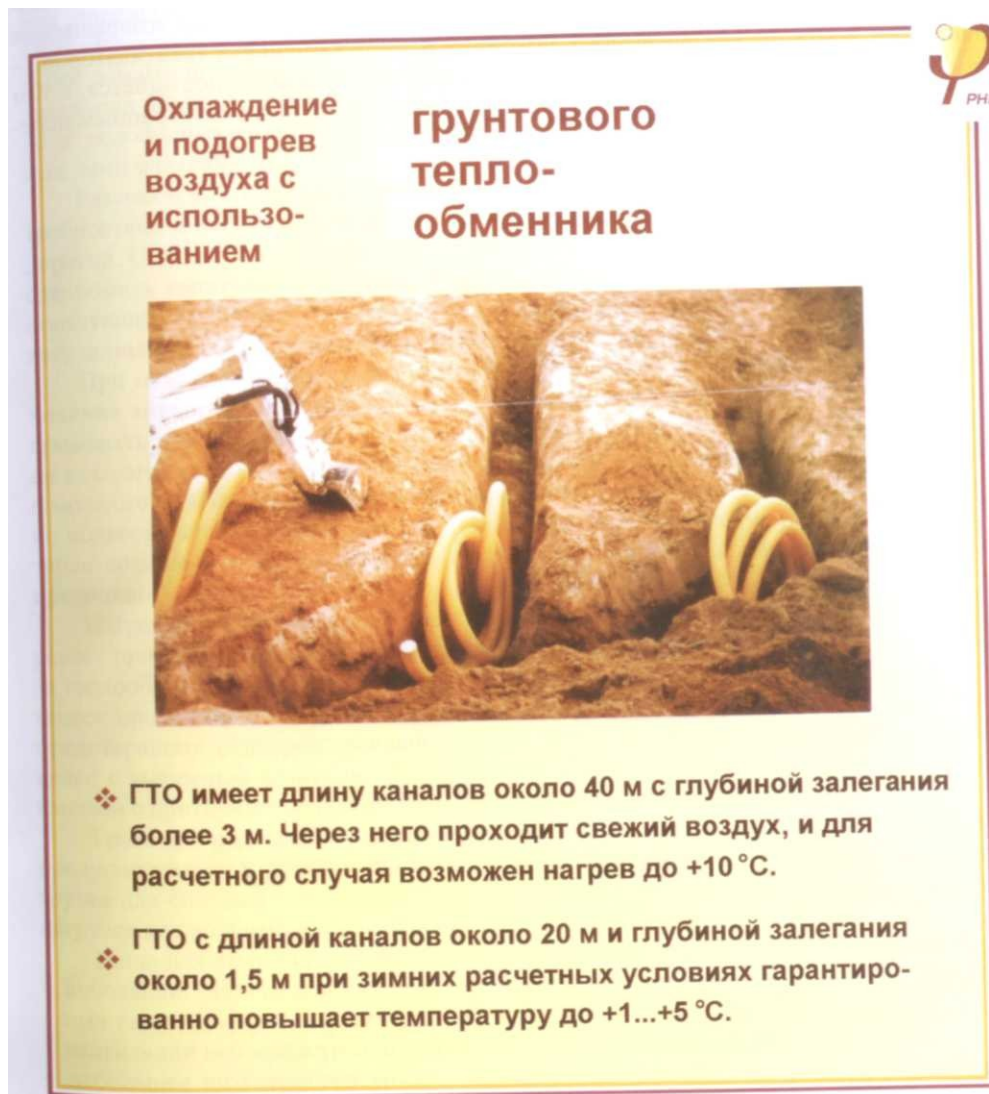


Рис. 20. Укладка трубы грунтового теплообменника (ГТО) в траншеи на глубину 1 м ниже уровня фундаментной плиты для пассивного дома в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн (в настоящее время также применяются иные системы. - Прим. перев.)

Другой вид защиты, пригодный для пассивных зданий, - это регулируемый подогрев свежего воздуха до минимальной температуры, равной 0°C . Такое решение оправдано, если предварительный подогрев отключается системой регулирования при температуре наружного воздуха выше 0°C .

Уже в первом демонстрационном здании в г. Дармштадт, р-н Кранихштайн, был установлен высокоэффективный противоточный теплообменник (воздух-воздух) с годовым потреблением электрической энергии 200...400 кВт·ч на квартиру. Обратно возвращаемое тепло составляет 3000...4000 кВт·ч/год. Это означает, что возвращаемое тепло более чем в 10 раз превышает потребность теплообменника (вентиляторов. -Прим. перев.) в электрической энергии. Эта высокая эффективность достигается, в том числе, благодаря применению электродвигателя постоянного тока с электронным переключателем [Feist 1994].

8.Пассивный дом: воздушное отопление и использование энергии грунта

Годовой удельный расход тепловой энергии на отопление в пассивном доме хотя и очень незначителен, но не равен нулю. Представленное в 1-й главе предельное значение $15 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$ означает, что потребление тепла на отопление в таунхаусе с жилой площадью (см. прил.1) 120 м^2 соответствует ежегодному значению примерно 1800 кВт·ч. Результаты моделирования и практический опыт с построенными пассив-

ными домами показали, что отопительная нагрузка в самые холодные дни находится в диапазоне 10 Вт на 1 м² жилой площади. Это означает, что для комнаты площадью 20 м² необходима отопительная нагрузка величиной 200 Вт - это мощность двух обычных ламп накаливания.

Разумеется, что при этих известных условиях с имеющимися крайне низкими потребностями и нагрузками обычная система отопления была бы избыточной и слишком дорогой. Стандарт пассивного дома становится интересным благодаря тому, что можно сэкономить капитальные затраты, необходимые для создания системы отопления, использующей трубопроводы. Разумеется, в пассивных зданиях также можно использовать дополнительно традиционные системы отопления.

При максимальной нагрузке в 10 Вт/м² для дома с жилой площадью 120 м² необходимая мощность составит 1200 Вт. Согласно гл. 7 в пассивном доме необходимо применять приточно-вытяжную вентиляционную установку с рекуперацией тепла. Если исходить из объема приточного воздуха 120 м³/ч в нормальном режиме, то с помощью этого объема приточного воздуха при повышении его температуры на 30 °С можно подвести необходимые 1200 Вт. Таким образом, обеспечение низкой потребности в тепле возможно с использованием системы приточной вентиляции и потребляемого приточного воздуха.

Нагревание приточного воздуха происходит с помощью калорифера, который подогревает приточный воздух до необходимых параметров и расположен непосредственно за теплообменником. После калорифера вентиляционный канал с приточным воздухом может проходить в обычном случае только внутри теплых помещений. Необходимо предотвращать непосредственный перенос тепла из канала с приточным воздухом в канал с вытяжным воздухом. Часть тепла передается в помещения уже через систему каналов с приточным воздухом, а это вполне желательный процесс.

Тепло для подогрева приточного воздуха может быть заимствовано, к примеру, из предусмотренной проектом системы нагрева горячей воды. Требуемая тепловая нагрузка для системы вентиляции в любом случае намного меньше, чем максимальная нагрузка для получения горячей воды.

Тепло для нагрева горячей воды можно вырабатывать из различных источников:

- небольшие газовые конденсационные котлы, с обычной системой отвода отработанных газов; в будущем возможно использование каналов вытяжного воздуха системы вентиляции непосредственно для отвода этих отработанных газов;
- небольшая низкотемпературная установка для производства тепла, работающая на Жидком топливе и не потребляющая для горения внутренний воздух из помещений;
- печи, работающие на гранулах из прессованных древесных опилок, с автоматической загрузкой, регулируемой в зависимости от температуры внутри помещений здания.

Особенно хорошей возможностью является получение тепла с помощью маленького, высокоэффективного теплового насоса с величиной годового коэффициента преобразования больше 3. В качестве источника тепла для теплового насоса может служить удаляемый воздух на выходе после теплообменника. Если, как рекомендовано, применять грунтовый теплообменник для предварительного нагрева наружного свежего воздуха, то температура удаляемого воздуха даже в самые холодные дни составляет не менее 6... 10 °С. Кроме того, удаляемый воздух содержит латентное (скрытое) тепло с учетом водяного пара, который содержится в удаляемом воздухе. При охлаждении удаляемого воздуха до температуры 2 °С (в этом случае обледенение отсутствует с некоторым безопасным интервалом температуры) возможно извлечь из этого источника тепловую мощность величиной 500...800 Вт. Благодаря этому для пассивного дома становится возможна очень простая интегрированная система для вентиляции жилья с одновременным обеспечением низкой потребности в тепле: маленький компактный тепловой насос (электрическая мощность 300...500 Вт)

извлекает тепло из удаляемого воздуха, которое затем подводится к приточному воздуху. Тепловой насос встраивается в вентиляционную установку, его испаритель находится в вентканале удаляемого воздуха, а его конденсатор в вентканале приточного воздуха за пластинчатым теплообменником - это не требует дополнительных источников тепла и нагревательных приборов.

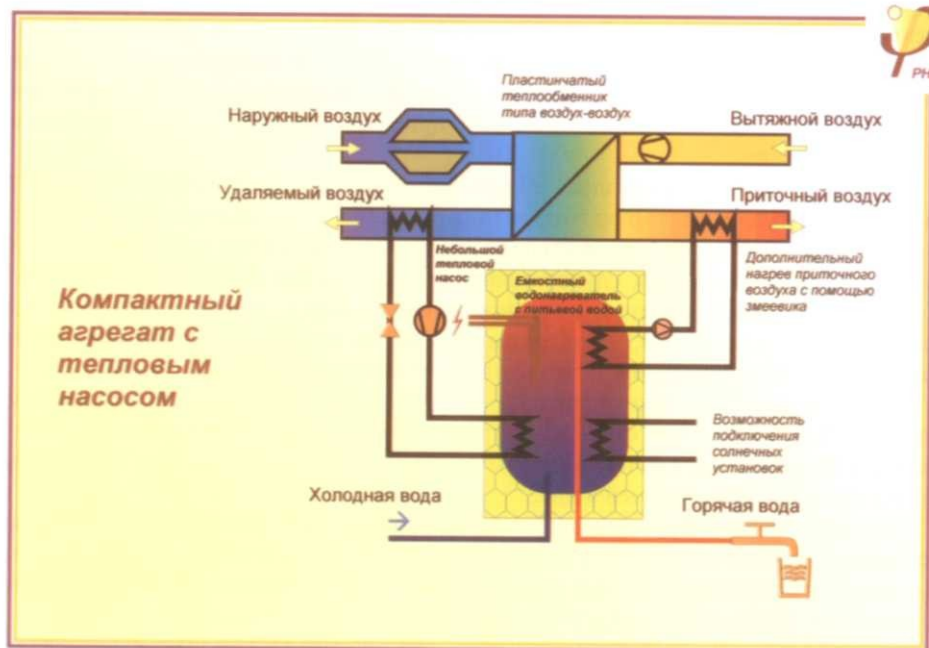


Рис. 21. Благодаря компактному агрегату (пластинчатый теплообменник с тепловым насосом) значительно упрощается домашняя техника в пассивном доме. Такой прибор выполняет функции домашней техники (отопление, горячая вода и вентиляция)

(на данном рисунке представлена иная схема, чем описана в тексте. - Прим. перев.)

С использованием вышеописанного компактного прибора в пассивном доме достигается потребление электрической энергии на отопление в размере менее чем 600 кВтч/год. Это значение незначительно больше, чем потребление электрической энергии на вспомогательные нужды обычной традиционной системы отопления (насосы, система регулирования и вентиляторы).

Независимо от того, каким способом вырабатывается крайне низкое количество тепловой энергии в пассивном доме, необходимо обратить внимание на следующие основные положения для системы отопления.

- Система отопления в пассивном доме должна быть простой и недорогой.
- Генераторы тепла должны быть рассчитаны в первую очередь на получение горячей воды. Малая потребность в тепловой энергии на отопление может быть обеспечена «как бы между делом».
- Трубы отопления и вентиляционные каналы должны находиться только внутри теплоизоляционной оболочки здания. Если небольшой участок находится снаружи теплой зоны, то его необходимо хорошо теплоизолировать (толщина утеплителя порядка 100 мм).
- Если внутри дома надо установить генератор тепла, работающий на жидком топливе, то для него необходим отдельный подвод воздуха. Важно, чтобы система подачи воздуха для горения топлива и система удаления отработанных газов были герметично отделены от воздуха в помещениях, а также были герметично закрыты в выключенном состоянии. Иначе существует опасность поступления вредных веществ в квартиру, помехи в работе вентиляционной установки и дополнительные, неконтролируемые, инфильтрационные потери.
- Возможны различные решения для регулирования маломощной системы

отопления. Например, традиционное распределительное устройство для выработки тепловой энергии, которое в зависимости от температуры наружной среды, в сочетании с комнатным термостатом, очень хорошо функционирует в построенном пассивном доме в г. Дармштадте. Существенным является то, что система в неотапливаемое время полностью отключается. Альтернативой является регулирование центральной установки через головной температурный датчик, находящийся в центре дома (промежуточная зона, см. гл. 7).

Отопительная нагрузка в пассивном доме очень незначительна. Она, тем не менее, всегда достаточна, чтобы содержать здание в комфортных, теплых условиях. Если температура в квартире все-таки понизилась (например, после полностью отключенного отопления во время зимнего отпуска), то потребуются очень долгий промежуток времени для повторного нагрева. Поэтому не рекомендуется полностью отключать систему отопления для пассивного дома. При крайне низком теплоснабжении это и не обязательно.

9. Возрастающее значение горячего водоснабжения

Так как потребление энергии на отопление в пассивных домах очень незначительное, то самое большое внимание уделяют расходу энергии для нагрева горячей воды. В зависимости от потребности одной семьи энергопотребление с горячей водой составляет от 1500 до 5000 кВтч/год (полезная энергия Q_n - см. прил. № 2). К этому часто добавляются еще от 1000 до 3000 кВтч/год на теплопотери емкостного водонагревателя, инженерных коммуникаций и циркуляционных трубопроводов, а также тупиковых трубопроводов. Но в случае пассивного дома, когда потребность в энергии на отопление настолько мала, что практически равна нулю, имеет смысл тщательно проектировать оборудование, необходимое для нагрева горячей воды для бытового использования (см. также [1997]).

В первую очередь здесь проводятся мероприятия по уменьшению потерь.

- Принципиально необходимо укладывать все проходящие трубопроводы с горячей водой внутри утепленной оболочки здания, по возможности там же должен находиться емкостный водонагреватель. Тогда теплопотери от этих устройств по крайней мере в отопительный период будут полезными для помещения; кроме того, этим решается проблема защиты от морозов.
- Сеть горячего водоснабжения должна иметь по возможности короткие трубопроводы, это снижает как капитальные затраты, так и теплопотери. При проектировании это означает, что помещения нужно располагать так, чтобы точки отбора воды находились по возможности рядом. Тогда в плане кухни, ванные комнаты, туалеты и другие влажные помещения также должны находиться по возможности рядом или друг над другом. Это дополнительно экономит средства на устройство водоснабжения, канализации и каналов вытяжного воздуха.
- Если вопреки рекомендации первого пункта трубопроводы и накопитель расположены за пределами теплоизоляционной оболочки, то их необходимо очень хорошо утеплять. Необходимым и экономически целесообразным является удвоение толщины утеплителя по сравнению с требованиями действующего Постановления по отопительным установкам [Re151 1998]. Также здесь необходимо обратить внимание на закрытую теплоизоляционную оболочку без тепловых мостов.
- Трубопроводы горячей воды и емкостный водонагреватель для хозяйственно-питьевой воды необходимо очень хорошо теплоизолировать даже в том случае, если они устанавливаются внутри отапливаемого помещения. Это служит не только для уменьшения потерь энергии, но также необходимо для ограничения нагревания здания летом. Высокий комфорт летом без необходимости

активного кондиционирования воздуха является одним из критериев для пассивного дома.

- Выгодно применять оборудование, экономящее потребление воды. Надежными считаются, например, души с экономичным режимом, смесители с термостатами и ограничители расхода. Это оборудование сберегает, в свою очередь, не только энергию, но и дорогую воду и к тому же улучшает комфорт. По тем же причинам рекомендуется утепленная конструкция ванной.

Благодаря описанным здесь мероприятиям удастся ощутимо понизить потребление энергии для нагрева горячей воды.

Для эффективного нагрева хозяйственно-питьевой воды в пассивном доме имеется в распоряжении целый ряд альтернатив, которые перечислены ниже.

- В доме с таунхаусами центральное горячее водоснабжение, охватывающее все секции, с циркуляционным трубопроводом (прокладывать в пределах отапливаемой области!) является недорогим решением. Нагрев хозяйственно-питьевой воды осуществляется центрально, например, с помощью высокоэффективного конденсационного котла. Преимущество: центральный подвод солнечной энергии (в случае применения солнечных коллекторов) тогда возможен намного дешевле (см. пункт 2).

- Гелиоустановки (солнечные коллекторы) для нагрева хозяйственно-питьевой воды строятся сегодня в количестве, достойном упоминания, даже если речь идет о сравнительно дорогих устройствах. В пассивном доме может стать интересным применение коллекторов, встроенных в крышу или стены, которые устанавливаются уже в предварительно изготовленное место в оболочке здания. Высокая степень использования солнечной энергии достигается, если емкостной водонагреватель (использующий энергию солнца) рассчитывается на некоторую среднюю температуру и последующий нагрев осуществляется в проточном электронагревателе.

- При небольших потребностях в нагреве хозяйственно-питьевой воды могли бы применяться небольшие (компактные) котлы, использующие деревянные гранулы, которые уже были упомянуты при описании отопления помещений.

- При проектировании теплоснабжения для отдельной квартиры или многоквартирного дома необходимо учитывать, что потребность в тепловой энергии для получения горячей воды превосходит максимальную отопительную нагрузку, а также годовое потребление тепловой энергии на отопление. Поэтому генератор тепла должен быть оптимально рассчитан для нагрева горячей воды. Это требует нового подхода для получения тепловой энергии, который может быть интересным для здания с низким энергопотреблением: генератором тепла является емкостный водонагреватель, отапливаемый напрямую. Топливо и воздух, необходимый для горения, подводятся в камеру сгорания, которая находится в центре емкостного водонагревателя. Эта система не должна использовать воздух из помещения и может обеспечить дополнительные потребности на отопление.

- Представленный в предыдущем пункте емкостный водонагреватель вместо топочной камеры мог бы также обеспечиваться теплом от проложенного в секционном доме внутреннего трубопровода с горячей водой, соединенного с отдельным источником тепла (например, газовая котельная на один дом для горячего водоснабжения).

- В пассивном доме интересным вариантом для нагрева хозяйственно-питьевой воды является применение теплового насоса. Источником тепла может быть удаляемый воздух из теплообменника системы вентиляции типа воздух-воздух. Большую часть времени года удаляемый воздух имеет температуру более +15 °C. Кроме этого, добавляется теплота конденсации водяного пара, содержащегося в удаляемом воздухе с тепловым потоком от 200 до 400 Вт. Суммарный тепловой поток, который можно снять, составляет от 500 до 800 Вт. Применяя тепловой насос с этим источником тепла, можно получить от 500 до 1800 кВтч/год для нагрева горячей воды. Если тепло Удаляемого воздуха также используется для необходимого минимального отопления, то во время небольшого количества особо холодных дней возможно в

случае необходимости осуществлять прямой дополнительный подогрев хозяйственно-питьевой воды. Эта система нагрева хозяйственно-питьевой воды с помощью теплового насоса с испарителем, помещенным в канал удаляемого воздуха, особенно интересна для отдельно стоящего многоквартирного дома, но может быть рекомендована только при достижении требований стандарта пассивного дома.

Вследствие незначительных капитальных затрат обсуждается также возможность нагрева горячей воды напрямую, т.е. с использованием электрической энергии, например с помощью нагревателя проточной воды, установленного в пассивном доме. Этот вариант, без сомнения, является самым незначительным по капитальным затратам. Он предполагает оптимизацию стоимости тепла для пассивного дома. Тариф электроэнергии для населения составляет в настоящее время 20 пфеннигов/кВт·ч (в настоящее время от 15 до 18 евроцентов. - *Прим. перев.*); общая стоимость тепловой энергии составляет в итоге около 1000 немецких марок в год (в настоящее время 750...900 евро. - *Прим. перев.*). Это ясно показывает предельный инвестиционный диапазон для эффективных вариантов. С помощью электрического нагрева горячей воды, однако, не так просто достигнуть требуемого показателя потребления первичной энергии, который должен составлять для пассивного дома не более 120 кВтч/(м²год).

10. Холодная питьевая вода, сточные воды – также важная тема для пассивного дома

В области экстремально низкой отопительной нагрузки, как, например, в пассивном доме, обнаруживаются потери энергии, которыми в «обычных» домах пренебрегают. Например: по санитарно-гигиеническим требованиям холодная вода должна поступать в дом при температуре около 10 °С. Как правило, вода стоит продолжительное время, например, в туалетных смывных бачках, вплоть до того момента, когда вместе со сточными водами покинет дом. За это время вода нагревается - в среднем до температуры около 18 °С. Этого количества тепла здание лишается, и в зимнее время оно должно быть восполнено. В этом случае говорят о потерях тепла со сточными водами.

Здесь также выгодно сохранять потери на минимальном уровне.

- Короткие трубопроводы холодной воды сберегают капитальные вложения. Снова необходимо обращать внимание на короткие расстояния между водоразборными точками.

- Водосберегающая арматура экономит не только дорогую питьевую воду, но и энергию, как это было показано выше.

- Слишком усиленная теплоизоляция трубопроводов холодной воды для защиты против конденсационной влаги тем не менее невыгодна, так как вода в трубах, как правило, стоит слишком долго и даже при хорошей теплоизоляции со временем все-таки нагревается.

До настоящего времени считалось, что в отводящем стояке сточных вод вряд ли могут возникнуть значительные дополнительные потери тепла. Согласно нормам эти трубопроводы должны быть аэрированы, чаще всего за счет постоянно открытой трубы на крыше. В такой системе воздух постоянно выходит из канализационного трубопровода через стояк и вентиляционную трубу, а потом через крышу наружу. При прохождении через стояк, находящийся в доме, воздух нагревается, это создает дополнительную тягу и вызывает потери тепла, которыми нельзя пренебречь. Правильное решение состоит в установке внутри теплоизоляционной оболочки здания обычного вытяжного клапана промышленного производства, который в нормальных условиях плотно закрыт и только при возникновении пониженного давления (разряжения) в стояке кратковременно открывается, чтобы впустить воздух, например, из ванной комнаты. Кроме того, эта система избавляет проектировщика от необходимости устройства герметичного отверстия для вентиляционного

трубопровода в кровле. Даже если вытяжной клапан в настоящее время не имеет всеобщего допуска для применения в Германии, его пригодность доказана на деле в многочисленных проектах (в настоящее время допуск есть. - *Прим. перев.*). Вентиляцию канализационных коллекторов, расположенных снаружи здания, необходимо обеспечить посредством обычных регулярно установленных вентиляционных стояков с навесами (киосками). Для дома, состоящего из таунхаусов, необходим один вентиляционный стояк.

11. Потребление электрической энергии для бытовых нужд – резерв для повышения эффективности

Если потребление энергии на отопление и на нагрев горячей воды так сильно уменьшено, как в пассивном доме, то в этом случае счет на оплату электроэнергии составляет значительную часть эксплуатационных затрат.

Электрическая энергия используется в домашнем хозяйстве для многих целей: охлаждение, заморозка, стирка, мойка посуды, связь, освещение и многое другое. Эта используемая техника значительно облегчила нашу жизнь и сделала ее комфортнее. По аналогии с отоплением помещений, для которых расход энергии благодаря современной технике пассивного дома можно свести почти к нулю, потребление электрической энергии в домашнем хозяйстве также значительно сокращается благодаря эффективным приборам.

В среднем по Германии одна семья потребляет около 32 кВт·ч/(м²·год) на электроэнергию для бытовых нужд. В первых построенных пассивных домах в г. Дармштадте в районе Кранихштайн потребление электрической энергии для бытовых нужд было сокращено почти в два раза, несмотря на то, что четыре блок-секции были оснащены обычными на сегодняшний день приборами с большим энергопотреблением, вплоть до сушилок для белья, которые не используются, так как имеется сушильное помещение [1997].

В вопросе потребления электроэнергии решающим пунктом является техническая эффективность приборов. Например, потребление электроэнергии для холодильников все еще сильно различается по сравнению со стандартными новыми изделиями. Самый эффективный из них потребляет менее чем 100 кВт·ч/год, в то время как в продаже по-прежнему имеются старые серии с потреблением более 300 кВт·ч/год.

Некоторые основные принципы для эффективных систем с низким потреблением электроэнергии в пассивном доме представлены ниже.

- Важнейшим решением является покупка бытовых приборов. В качестве ориентации здесь можно использовать, например, проектную информацию по CERNEUS № 3 «Электрические приборы для пассивных зданий и проектирование энергопотребления» [CERNEUS 1998/3].
- При освещении в доме рекомендуется, как правило, использовать компактные флуоресцентные лампы (лампы дневного света) с электронным стартером. За редким исключением (например, стол для шитья) ими можно оборудовать всю осветительную арматуру. Расход электроэнергии будет в 4-5 раз меньше, чем при лампах накаливания.
- При проектировании электрооборудования необходимо обратить внимание на многочисленных потребителей, которые постоянно потребляют небольшое количество электрической энергии. Многие приборы (внутренний телефон, кабельный тюнер, радиотелефон и т.д.) имеют свой отдельный небольшой блок питания от сети с постоянным потреблением более чем 10 Вт. Здесь возможна значительная экономия. Прежде всего это относится к промышленности, которая должна в данном случае предлагать блок питания от сети с минимальным потреблением «в режиме ожидания» (Standby). Тем временем уже существует международная инициатива ограничить величину этих утечек

до значения не более 1 Вт на каждый прибор.

- Если установлена эффективная система для нагрева горячей воды, например, с помощью солнечного коллектора или емкостного водонагревателя с тепловым насосом, работающего за счет тепла воздуха внутренних помещений, то выгодно подключение стиральной и посудомоечной машины к этому источнику горячего водоснабжения. Это один из результатов исследований потребления электроэнергии в пассивном доме в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн [1997].

Высокая эффективность электрических приборов в пассивном доме рекомендована, чтобы избежать существенных внутренних источников тепла летом. Тогда в жаркий период микроклимат в помещениях легко поддерживать в комфортной области. Незначительную роль в холодные месяцы также играет тепло, отводимое от приборов.

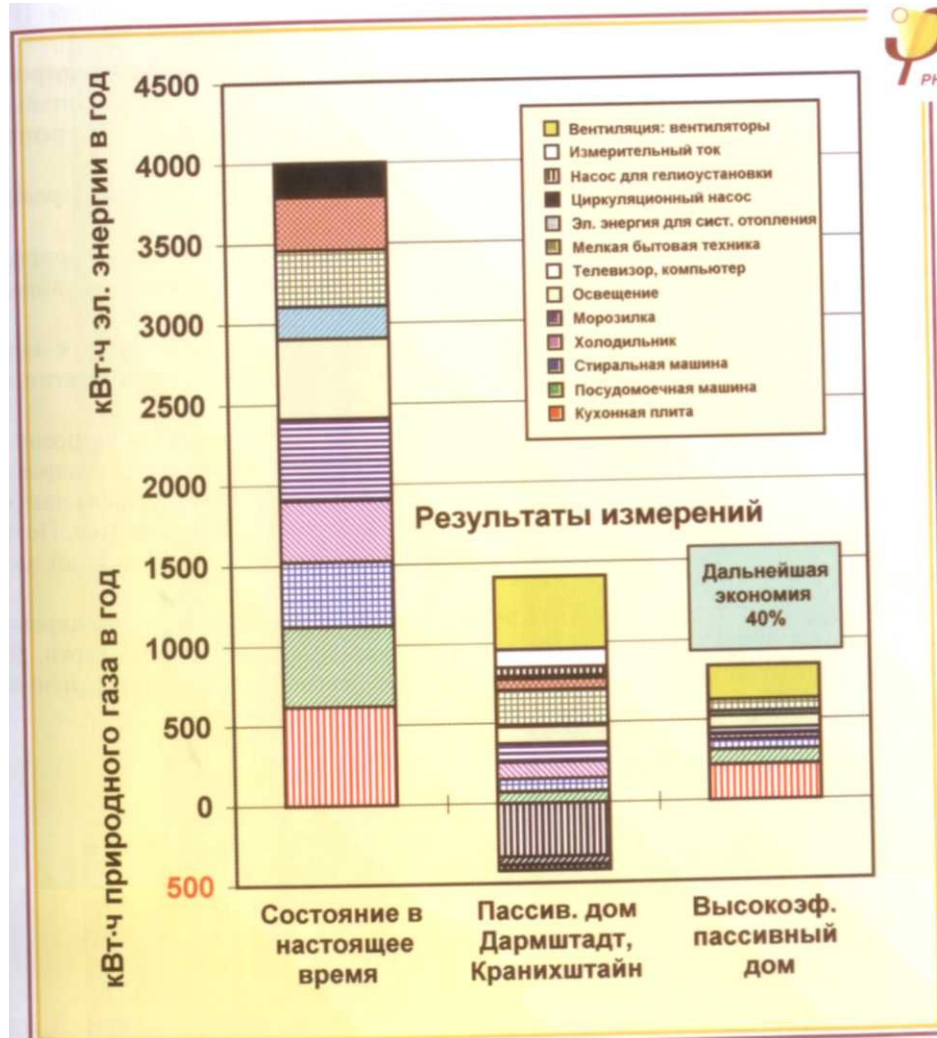


Рис. 22. Потенциал для улучшения эффективности использования электроэнергии в пассивном доме (в пассивном доме в г. Дармштадт кухонная плита потребляет природный газ, поэтому это тоже указано на вертикальной шкале (см. прил. 6). - Прим. перев.)

Продолжительность периода, в течение которого отапливается пассивный дом, очень коротка (от двух до четырех месяцев). Не имеет никакого смысла из-за этого короткого промежутка времени применять неэффективные электрические приборы, при использовании которых в течение всего остального года совершенно бесполезно теряется тепло.

На рис. 22 показаны значения потребления электроэнергии для обыкновенной квартиры, полностью оснащенной электрическими приборами (слева), далее для первого пассивного дома в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн, справа - для пассивного дома с будущими оптимизированными, высокоэффективными приборами.

Дальнейший достижимый резерв эффективности состоит в следующем [Feist 1997].

- При использовании системы вентиляции можно достичь величины энергопотребления, равной 0,25 Втч/м³, которая была измерена для вентиляторов в Кранихштайне. Не требуется дополнительное потребление электрической энергии для измерений и насосов гелиоустановки.
- Для мелкой бытовой техники можно резко сократить потери от работы в режиме ожидания (вместо значения от 3 до 15 Вт всего 1 Вт на один прибор). Телевизоры и компьютеры можно эксплуатировать с использованием высокоэффективных плоских дисплеев и снабжать современным энергосберегающим регулированием (спящий режим) для режима ожидания.
- Использование вакуумных теплоизоляционных панелей в холодильниках с морозильными камерами позволяет достигнуть годового потребления электроэнергии менее 100 кВтч/год.
- Стиральные и посудомоечные машины уже оснащены приборами со встроенным переключением подвода холодной и горячей воды. Кроме того, можно регулировать температуру посредством смесительной камеры и измерительного датчика так же, как это осуществлялось ранее в блоках управления, установленных снаружи. Поэтому на протяжении всего процесса мойки можно не использовать внутренний электрический подогрев воды.
- Для приготовления пищи может быть разработана индукционная плита, изолированная снизу вакуумной теплоизоляцией и с электронным регулированием варки. Для приготовления пищи необходимо использовать специальную посуду, пригодную для индукционных плит.

12. Опыт с первыми пассивными домами

Дом на четыре семьи в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн

Идея первых пассивных домов была совместно развита в 1988 г. проф. Ею Адамсо-«ом (Университет в г. Лунд, Швеция) и докт. Вольфгангом Файстом [Feist 1988]. Проектирование, подготовительные работы и строительство домов поддерживало Министерство экономики федеральной земли Гессен.



Рис. 23. Первый пассивный дом (южный фасад)

Проект архитекторов проф. Бота-Риддера и Вестермауера лег в основу строительства многосемейного дома (4 таунхауса) с односкатной крышей (рис. 23). На рис. 24 показан вид на одну из жилых комнат. Здание с четырьмя квартирами заселили в 1991 г. С этого момента здесь проводится обширная программа измерений, которая сначала финансировалась фондом Вюстенрота, а впоследствии Министерством по защите окружающей среды федеральной земли Гессен [Feust/Werner 1993].

Измеренные величины потребления энергии в среднем для четырех квартир площадью по 156 м каждая показаны на рис. 25. Действительно, в построенном пассивном доме удалось сократить удельное энергопотребление на отопление до значения ниже 12 кВт·ч/(м год). Для отопления был использован природный газ, расход которого измерялся по домашнему счетчику с последующим пересчетом в кВт·ч. Это крайне низкое потребление тепловой энергии на отопление, примерно в 20 раз ниже по сравнению со средним значением для обычных квартир в старом жилом фонде. Общее энергопотребление природного газа и электрической энергии для всех потребителей (отопление, горячая вода, вентиляция, газовая плита и электроэнергия для бытовых нужд) составило за последние восемь лет измерений в среднем менее чем 33 кВт·ч/(м год). Тем самым требуемое значение 30 кВт·ч/(м²год) было немного превышено. Таким образом, при эксплуатации пассивного дома в г. Дармштадте, р-н Кра-нихштайн, было доказано на практике, что пассивные дома сегодня могут быть реализованы, что совсем низкое расчетное потребление энергии возможно и что жители высоко оценивают комфорт в зданиях, выполненных в стандарте пассивного дома.

С 1991 по 1993 г. во всех четырех квартирах пассивного дома для надежности

системы отопления были установлены небольшие отопительные приборы. Эта система Отопления могла обеспечить дополнительно среднее потребление тепловой энергии на отопление до $10 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$.



Рис. 24. Вид на жилую квартиру в одной из четырех квартир в пассивном доме в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн. Через большие окна южной ориентации полностью открывается вид на наружный пейзаж. Поступления пассивной солнечной энергии с декабря по январь превышают теплопотери через эти окна

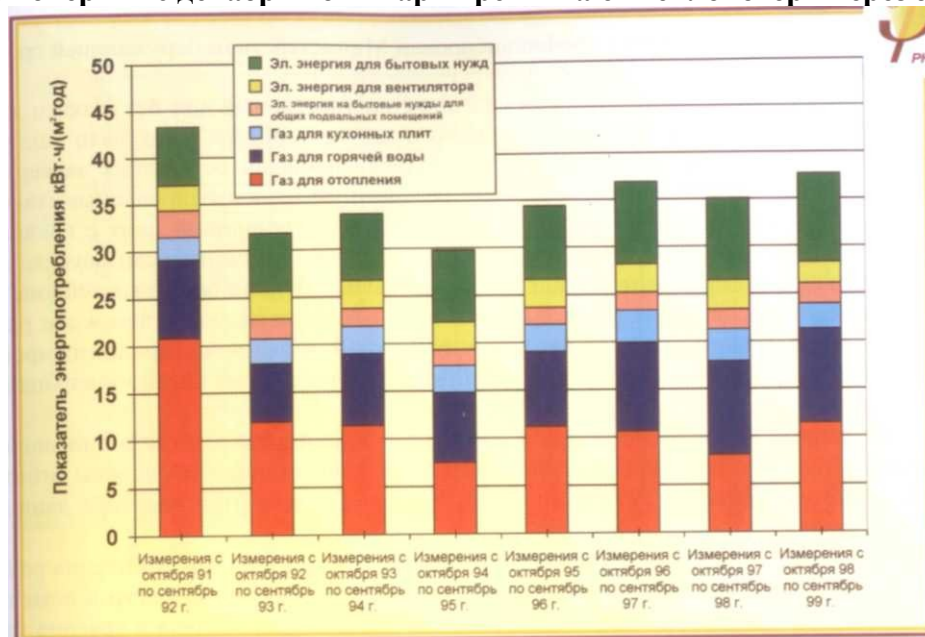


Рис. 25. Измеренное удельное потребление энергии в пассивном доме в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн. Во время первого цикла измерений не были закончены все мероприятия по теплоизоляции. В следующие периоды измерений потребление природного газа на отопление во всех четырех квартирах достигло значения менее $12 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$. Оставшееся потребление энергии на бытовые нужды соответственно мало, так что запланированные значения были практически достигнуты. Благодаря новым раздвижным теплоизолированным ставням можно было отключить полностью отопление в одной из квартир в

четвертом и пятом периодах измерений. Тем самым был достигнут стандарт здания с нулевым энергопотреблением на отопление

В одной из четырех квартир благодаря особым мероприятиям стало возможным в период с октября 1994 г. по сентябрь 1996 г. полностью отключить систему отопления. Настоящий научный проект был профинансирован Министерством окружающей среды федеральной земли Гессен [Feist 1995c].

Дом с нулевыми затратами энергии на отопление (пассивный дом без всякого действующего отопления) стал возможен после того как теплопотери дома были еще раз существенно уменьшены. Летом 1994 г. поверх всей площади остекления четвертой квартиры пассивного дома были установлены раздвижные теплоизолированные ставни. Раздвижные теплоизолированные ставни состоят из полиуретановых плит с наклеенным с двух сторон алюминиевым покрытием. Вечером они автоматически опускаются снаружи большой поверхности остекления и уменьшают трансмиссионные теплопотери через остекления, оконные рамы и откосы оконных проемов более чем в два раза. Так как остальные части здания и так уже максимально качественно теплоизолированы, то благодаря этому мероприятию теплопотери в ночное время сильно уменьшаются.

Выполненный ранее расчет модели пассивного дома подтвердил, что с помощью раздвижных теплоизолированных ставней возможен полный отказ от системы отопления. И поэтому в сентябре 1994 г. система отопления в четвертой квартире данного дома была полностью отключена.

Так как в этом случае потребление тепловой энергии от системы отопления равно нулю, то к анализу привлекаются только измеренные значения температур в помещениях. На рис. 26 показан график среднесуточной температуры воздуха в течение отопительного периода 1994/95 г. в жилой комнате этой квартиры. Заметно, что температура в помещении такой неотапливаемой квартиры колеблется под влиянием климатических условий в пределах неких границ: благодаря большим солнечным теплопоступлениям температура в начале и в конце рассматриваемого отопительного периода относительно высока. Она снижается постепенно до конца декабря, причем иногда в солнечные дни повышается. Минимальная температура в помещении, которая была замерена 9 января, составляла 18,6 С. В этом случае необходимо учитывать следующее.

- Значение этой минимальной температуры было зафиксировано тогда, когда жители дома находились в отпуске в зимнее время. Это снижение температуры становится заметным из-за уменьшения внутренних тепловыделений и с учетом того, что каждый житель выделяет около 70... 100 Вт тепла.
- Температура воздуха в помещении 18,6 С не ощущается как некомфортная. Так как все внутренние поверхности помещений имеют примерно одинаковую температуру, то воспринимаемая (ощущаемая) температура, которая является результатом излучения и конвекции, остается на том же уровне. В обычных, плохо изолированных зданиях при температуре воздуха внутри помещения 20 С температура на внутренней поверхности часто составляет менее 16 С и воспринимается как более низкая, ощущаемая как некомфортная температура по сравнению с вышеописанным случаем.

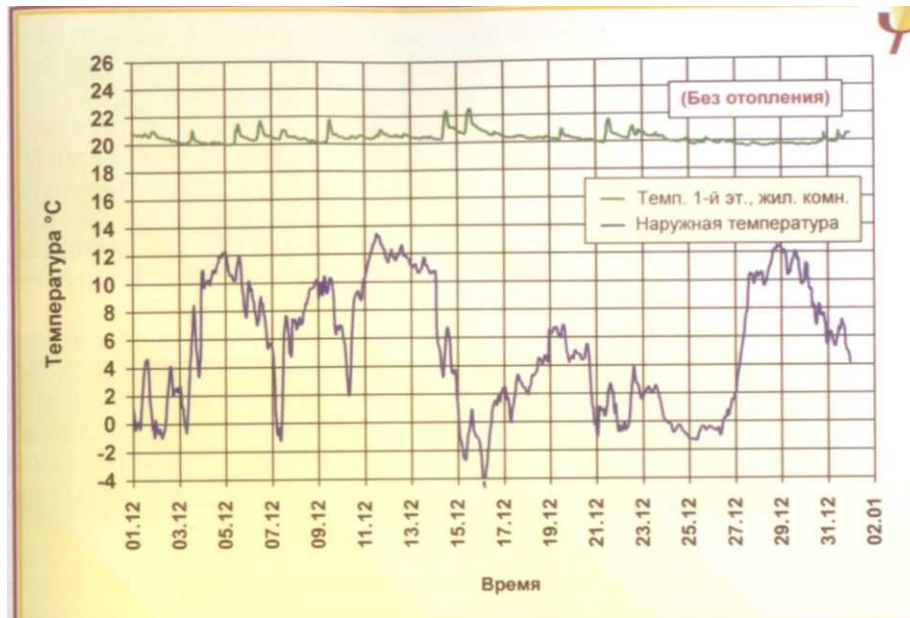


Рис.26. График среднесуточной температуры воздуха в жилой комнате пассивного дома без отопления (период измерения зима 1994/95). Кроме короткого периода времени в начале января (отсутствие жильцов) температуры, воздуха были всегда выше 19 °C (по: [Feist 1995c])

Результаты периода измерений 1994/95 г. в четвертой жилой секции пассивного Дома показывают: **в среднеевропейском климате сегодня технически реализуемы Дома с нулевыми затратами энергии на отопление. Полный отказ от отопления возможен благодаря очень хорошей теплоизоляции, включая хорошо теплоизолированные окна, пригодные для пассивных зданий, с дополнительными раздвижными теплоизолированными ставнями. Также при достигнутых очень низких \dot{Q} -потерях тепловые характеристики дома идеально совпадают с теоретическими значениями расчетной теплотехнической модели.**

Первый поселок из пассивных зданий в Висбадене

В 1997 г. в Висбадене возник первый поселок с 22 таунхаусами в стандарте пассивного дома с потреблением тепловой энергии на отопление 15 кВт·ч/(м²·год), построенных строительным подрядчиком Rasch&Pertner.

Все таунхаусы конструктивно абсолютно идентичны, однако были разработаны три различных типовых проекта для семей с различными потребностями. Самый маленький таунхаус имеет жилую площадь (см. прил. 1) примерно 70 м² и три комнаты, кухню, ванную. Он подходит для одиноких людей, бездетной семьи и малых семей. Второй типовой проект имеет площадь 95 м² и четыре комнаты, кухню, ванную. Самый большой типовой проект имеет площадь 110 м² и четыре-пять комнат, кухню, ванную и задуман для семей, имеющих до трех детей.

Эти 22 таунхауса не имеют подвала, но имеют внутри и снаружи подсобные помещения.

У всех таунхаусов массивная теплоизоляция фасада, пола первого этажа и кровли. В каждом таунхаусе были установлены высокотеплоизолированные окна [U около 0,8 Вт/(м²·K)] и высокоэффективная вентиляция с рекуперацией тепла. Все таунхаусы снабжаются энергией одинаковым способом: для отопления (которое незначительно) и для получения горячей воды используется тепло из системы централизованного теплоснабжения.

Внутри каркасных конструкций стен между таунхаусами и на монолитные бетонные фундаментные плиты была уложена по всей площади теплоизоляция из полистирола толщиной 300 мм. В теплоизоляционном слое, проходящем поверх

фундаментов, находятся также все горизонтальные сети, установка которых вследствие этого стоила недорого. На теплоизоляции лежит воздухонепроницаемая пленка, которая связана по краям с общей воздухонепроницаемой оболочкой фасадов.

На коробку здания крепились облегченные двутавровые строительные балки для устройства теплоизоляции фасадов и крыши. Толщина теплоизоляции для крыши составляет 400 мм, для стен 300 мм.

Техническое оборудование для пассивных домов размещалось в подсобных помещениях на первом этаже.

После строительства продолжительностью всего 20 недель в Висбадене к заселению были готовы 46 таунхаусов, из них 22 в стандарте пассивного дома и 24 с низким энергопотреблением.

Как живет в этих пассивных домах? Наиболее внушительно представлено мнение жителей пассивных домов в статье из газеты IG Bau: «Мы ни разу не чувствовали холод». Жители довольны условиями проживания на 100%. Все хвалят хорошее качество воздуха как в доме с низким потреблением энергии, так и в пассивном доме. Все жители довольны, что дом не надо дополнительно отапливать, кроме (в случае необходимости) ванной комнаты. Пассивные дома в Висбадене продавались без земельного участка и без подвода внешних коммуникаций по цене 265 000...290 000 немецких марок (DM). По сравнению с домами с низким энергопотреблением пассивные дома имели дополнительные затраты в размере примерно 17 000 DM. В эти дополнительные затраты входили: установка рекуперации тепла, специальные окна для пассивного дома и в торцевых секциях грунтовый теплообменник с байпасом, встроенным в систему управления.



Рис. 27. Первый поселок из пассивных домов в Висбадене; строительный подрядчик Rasch&Partner

Первые результаты измерений, проведенные по совместной программе Институтом жилья и окружающей среды и Институтом пассивного дома, показывают, что баланс тепловой энергии на отопление в этом первом поселке пассивных домов соответствует расчетному. Уже в первый год измеренное потребление тепловой энергии на отопление в пассивных домах в поселке г. Висбадена (ряд С, состоящий из 15 таунхау-сов) со значением $15,4 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$ лишь незначительно превышало проектное значение $13,4 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$. На второй год величины потребления довольно точно совпадали с теоретическим значением (рис. 28).



Рис.28. Измеренное потребление тепловой энергии на отопление 22 пассивных домов (таунхаусов) в первом поселке пассивных домов в г. Висбадене (Источник: [Loga 2000])

13.Путь к малозатратному пассивному дому

Дополнительные расходы на строительство первого пассивного дома, построенного как научный проект в г. Дармштадте, р-н Кранихштайн, составили около 20%. Эта величина дополнительных расходов не очень значительная, если рассматривать стоимость сравнимых проектов. Тем не менее финансирование стало возможным только потому, что Министерство экономики федеральной земли Гессен представило застройщикам субсидии в размере 50% к дополнительным расходам. Длительное время поддерживать этот строительный стандарт, который в своей реализации нуждается в субсидиях, было бы невозможным.

К счастью, для пассивных домов второго поколения, построенных начиная с 1996 г., исходное положение изменилось. Это произошло по следующим причинам.

- Благодаря реализованным пассивным зданиям первого поколения была продемонстрирована техническая осуществимость строительства. Построенные пассивные здания функционировали так же, как это ожидалось после проведения моделирования с помощью компьютера. Тем самым усилилось доверие к проектным решениям и стал возможным отказ от дополнительного оборудования (например, приборов отопления).

- Часто обсуждаемые проблемы поведения жильцов не проявлялись в квартирах в пассивном доме г. Дармштадт, р-н Кранихштайн, и аналогичных проектах. Новый строительный стандарт хорошо воспринимается, и разброс мнений, который обусловлен использованием пассивного здания, колеблется в процентном отношении в той же самой области, как и в других жилых домах. Вследствие этого стандарт не нарушается.

- Имеющиеся в распоряжении компоненты для пассивных домов, которые до сих пор изготавливались только индивидуально, выпускаются теперь промышленным способом. Это приводит к значительному снижению затрат.

- Между тем благодаря многочисленным реализованным проектам домов с низким энергопотреблением имеется опыт работы с малозатратными, экономящими энергию строениями. Этот опыт был также перенесен на пассивные дома второго поколения.

Концепция пассивного дома очень хорошо подходит для применения в малозатратном строительстве. По сравнению с другими концепциями по энергосбережению и

использованию возобновляемых источников энергии, для пассивного дома не требуются никакие дополнительные компоненты в здании, которые вызывают дополнительные издержки. Компоненты пассивного дома, напротив, уже имеются в наличии в каждом здании (например, крыша, стена, окно, фундаментная плита), и в сравнении с обычным исполнением должно быть улучшено только их качество. Возникающие при этом дополнительные расходы представляют собой разность затрат по отношению к конструктивному элементу, выполненному обычным способом. Благодаря интеграции новых компонентов в конструкцию часто дополнительные расходы можно считать весьма незначительными или даже свести до их нуля.

Возможность сооружать малозатратные пассивные дома в большом количестве открылась в 1996 г. Сегодня на рынке представлены несколько фирм, которые предлагают пассивные дома [потребление тепловой энергии на отопление $15 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$], аналогичные по стоимости жилищному строительству, выполненному в соответствии с действующими нормами. При заводском изготовлении ограждающих конструкций необходимая дополнительная теплоизоляция требует очень незначительных дополнительных затрат. Но дополнительные затраты требуются для существенного улучшения качества окон. Для основных компонентов окон - остекления и рамы - уже имеются высококачественные продукты, изготовленные промышленным способом, которые ограничивают дополнительные расходы на окна до приемлемой суммы. Абсолютно необходимой является высокоэффективная вентиляционная установка с рекуперацией тепла. При этом необходимо учитывать, что по сравнению с системой вытяжной вентиляции дома с низким энергопотреблением дополнительные затраты составят от 5000 до 8000 немецких марок.

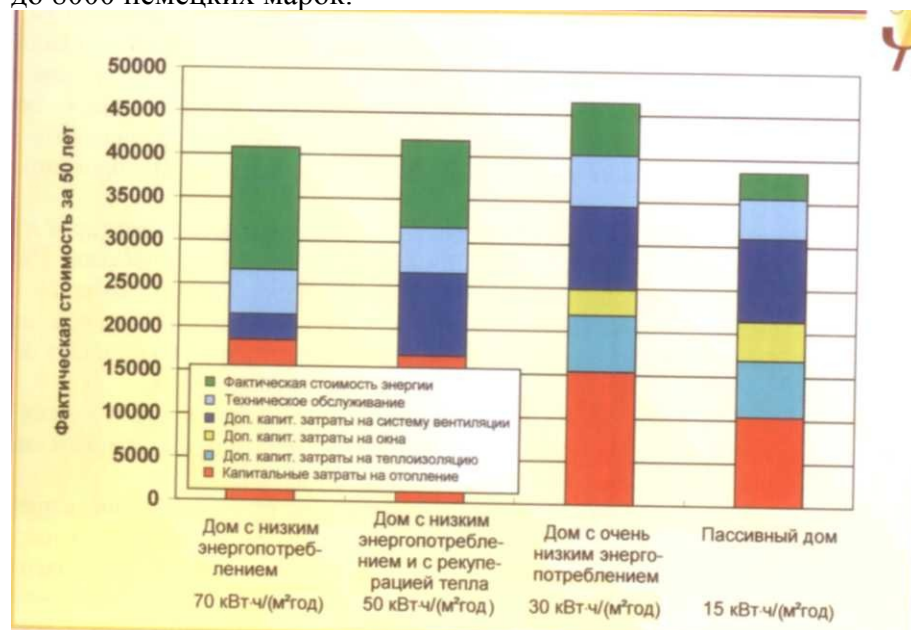


Рис. 29. Капитальные затраты на строительство пассивного дома не должны быть существенно выше, чем для стандарта дома с низким энергопотреблением, который имеет 5-кратное более высокое потребление тепловой энергии на отопление. Эта экономия возможна вследствие отказа от индивидуальной системы отопления. Экономия эксплуатационных расходов в пассивном доме ведет к экономически привлекательному результату. Этот результат подсчитывался здесь по методу капитализации затрат. Предполагаемая номинальная процентная ставка составляет 5,9%, темп инфляции 1,8%. В качестве исходного временного интервала выбран период в 50 лет. Средняя стоимость полезного тепла в течение этого периода принимается в размере 10 пфеннигов за киловатт-час. Все данные указаны в реальных ценах (на 2000 г.)



Рис. 30. Административное пассивное здание фирмы Wagner & Co в Кёльбе под Марбургом

Решающим обстоятельством является следующее: если теплотехнические улучшения приведут к соответствию стандарту пассивного дома, то после имеющегося опыта построенных пассивных домов можно будет отказаться от отдельной системы отопления. Значения минимальной отопительной нагрузки продолжительное время настолько незначительны, что тепло может подводиться через приточный воздух гигиенически безупречно, без повышения расхода воздуха и без устройства дополнительных вентиляционных каналов. Экономия за счет системы отопления сберегает капитальные затраты (более 6000 немецких марок). При этом дополнительный элемент системы вентиляции едва ли вызывает дополнительные издержки. В целом пассивный дом этого качества может сооружаться сегодня с дополнительными инвестиционными затратами примерно от 0 до 15 тыс. немецких марок в сравнении со зданием, выполненным в соответствии с обычным стандартом (рис. 29).

Немаловажным является то, что издержки на техническое обслуживание в пассивном доме из-за упрощенной технической концепции значительно меньше, чем в старом обыкновенном здании. Конструктивные компоненты, такие как улучшенная теплоизоляция, имеют очень длительный срок эксплуатации без необходимости ремонта; квартирные вентиляционные установки просты и в будущем будут более дешевыми.

Стандарт пассивного дома не ограничен многоквартирными домами и таунхаусами. Отдельно стоящий многоквартирный дом является самым энергетически неблагоприятным вариантом и даже самым трудным случаем для использования концепции пассивного дома, но тем не менее разрешимым [Brüer в 1995].

Первые реализованные пассивные дома были таунхаусами. Кроме того, также были сооружены большие многоквартирные дома и офисные здания в стандарте пассивного дома (рис. 30). Также отели, школы, детские сады и производственные здания могут проектироваться как пассивные дома.

Демонстрационный проект пассивного дома в Дармштадте был настолько успешен, что несколько лет спустя большое количество зданий сооружалось по этому проекту.

В 1998 г. проекту «Малозатратные пассивные дома как европейские стандарты» была предоставлена финансовая поддержка по программе Темі Европейского сообщества. Задачами этого проекта являются:

- строительство более чем 200 квартир в малозатратных пассивных домах в пяти европейских странах, несколько квартир из которых были сооружены в

Ганновере в непосредственной близости от территории международной выставки EXPO 2000;

- достижение величины удельного годового расхода тепловой энергии на отопление меньше чем $15 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$, так что не требуется никакой обычной системы отопления. Незначительная потребность в тепле может покрываться полностью благодаря нагреву приточного воздуха;



Рис. 31. Проект на международной выставке EXPO 2000, состоящий из 32 малозатратных пассивных зданий; место расположения - г. Ганновер, р-н Кронсберг

- общее потребление конечной энергии в пассивных домах должно составлять менее $42 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$ и быть, таким образом, примерно в четыре раза ниже, чем современное среднее значение в новостройках (снижение энергопотребления: тепла на отопление в помещениях -80%, на приготовление горячей воды -60%, а также электрической энергии на бытовые нужды -60%);

- после широкого внедрения на рынок пассивные дома должны быть также и экономически рентабельными. Тогда дополнительные инвестиции в высокоэффективную технику не будут выше, чем ожидаемая экономия стоимости энергии в цикле эксплуатации здания с учетом капитализации;

- в районе строительства (г. Ганновер, р-н Кронсберг) общее минимальное энергопотребление домов должно покрываться полностью благодаря закупке и использованию ветроустановок;

- все проекты показывались на EXPO 2000 в Ганновере.

В г. Ганновере, р-н Кронсберг, сооружен поселок CEPHEUS15, состоящий из 2-этажных таунхаусов и расположенный в непосредственной близости от центральной части этого городского района.

В результате экспериментального строительства на территории поселка появятся примерно 3000 квартир. Не все эти квартиры достигнут стандарта пассивного дома; если бы это, однако, случилось, то получилась бы интересная перспектива.

Поблизости от поселка зарезервированы три площадки для больших ветроустановок класса - 1,5 МВт. Вся произведенная этими установками электроэнергия составит примерно 8,1 млн кВт-ч/год. Это заменяет больше первичной энергии, чем составляет общее энергопотребление поселка из пассивных домов с 3000 квартирами.

Пример показывает, что возможно обеспечивать пассивные дома только на основе возобновляемых источников энергии. Если эти 3000 жилых единиц построить

как новостройки со средними показателями энергопотребления, то потребовалось бы по меньшей мере 14 силовых ветроустановок указанной величины, чтобы восполнить потребление первичной энергии. Для этого в окрестностях поселения не имеется достаточно места, не говоря уже о высоких издержках.

Продажная цена новой квартиры (таунхауса) в этом регионе, включая налог на добавленную стоимость, но без земельного участка, составляла примерно 275 000 немецких марок (начало 90-х годов) при 117 м² жилой площади (см. прил. 1). Эти цены совсем мало изменились, если рассматривать продажную цену на новые дома с низким энергопотреблением (год постройки - 1997) в г. Ганновере, р-н Кронсберг. Очень интересно, что продажная цена пассивных домов в том же самом поселке также не выше (рис. 32). Кроме того, это предложение содержит два дополнения:

- возмещение покупателю расходов в размере 2600 немецких марок, если он подтвердит, что использует исключительно высокоэффективные домашние приборы;
- приобретение доли (стоимостью в 2500 немецких марок) силовой ветроустановки именно такой величины, которая необходима, чтобы компенсировать общее энергопотребление квартиры в новом доме.

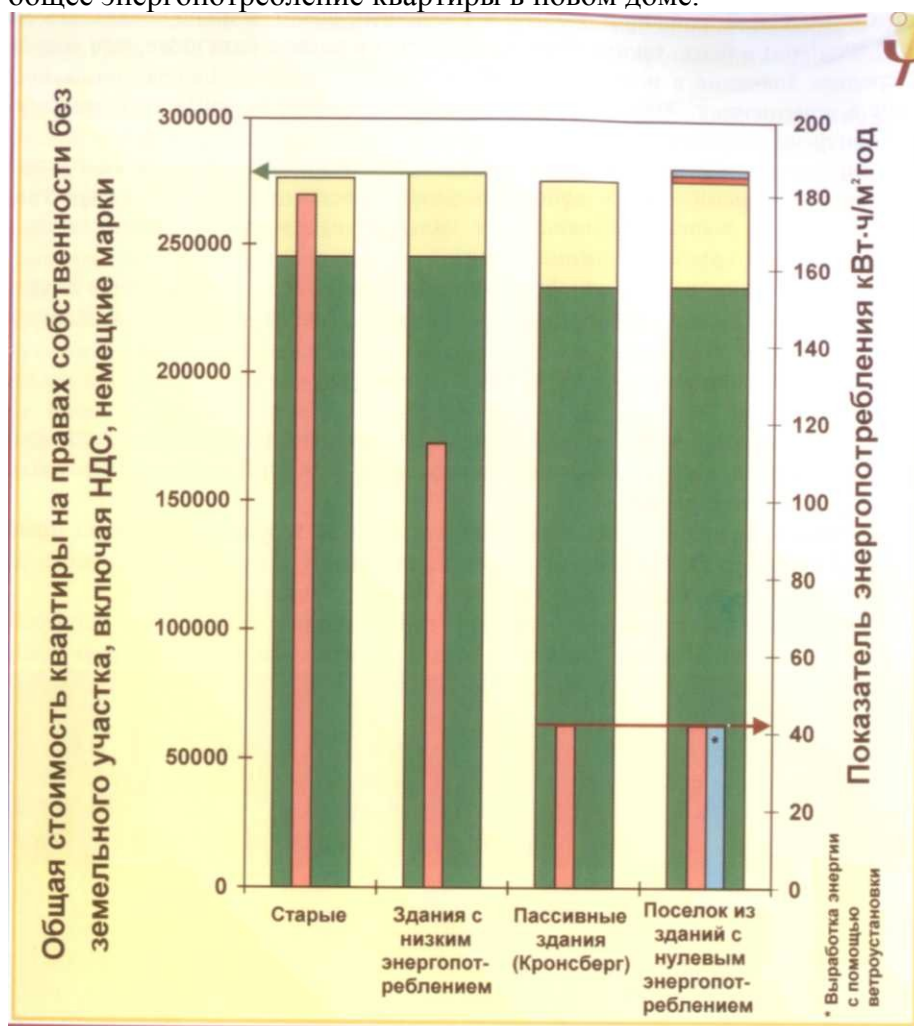


Рис. 32. Малозатратные пассивные дома, место расположения Ганновер-Кронсберг: поселок из зданий с нулевым энергопотреблением (зеленый цвет означает чистую стоимость строительства; желтый - накладные расходы. - Прим. перев.)

С использованием техники пассивного дома стало возможным сооружать целые поселки с таким незначительным энергопотреблением, что существует возможность покрывать незначительную потребность по экономически приемлемой цене только с помощью возобновляемых источников энергии. Не только дом с нулевым энергопотреблением, но и поселок из таких домов стали реальными.

14. Проектирование с помощью пакета проектирования пассивного дома (PHPP). Подтверждение параметров пассивного дома

Принцип энергобаланса

Здания имеют замкнутую внешнюю оболочку. Для нее действует закон сохранения энергии:

Разность между суммой всех поступающих через оболочку здания потоков энергии (поступления) и суммой потоков выходящей энергии (потери) соответствует изменению внутренней энергии в здании.

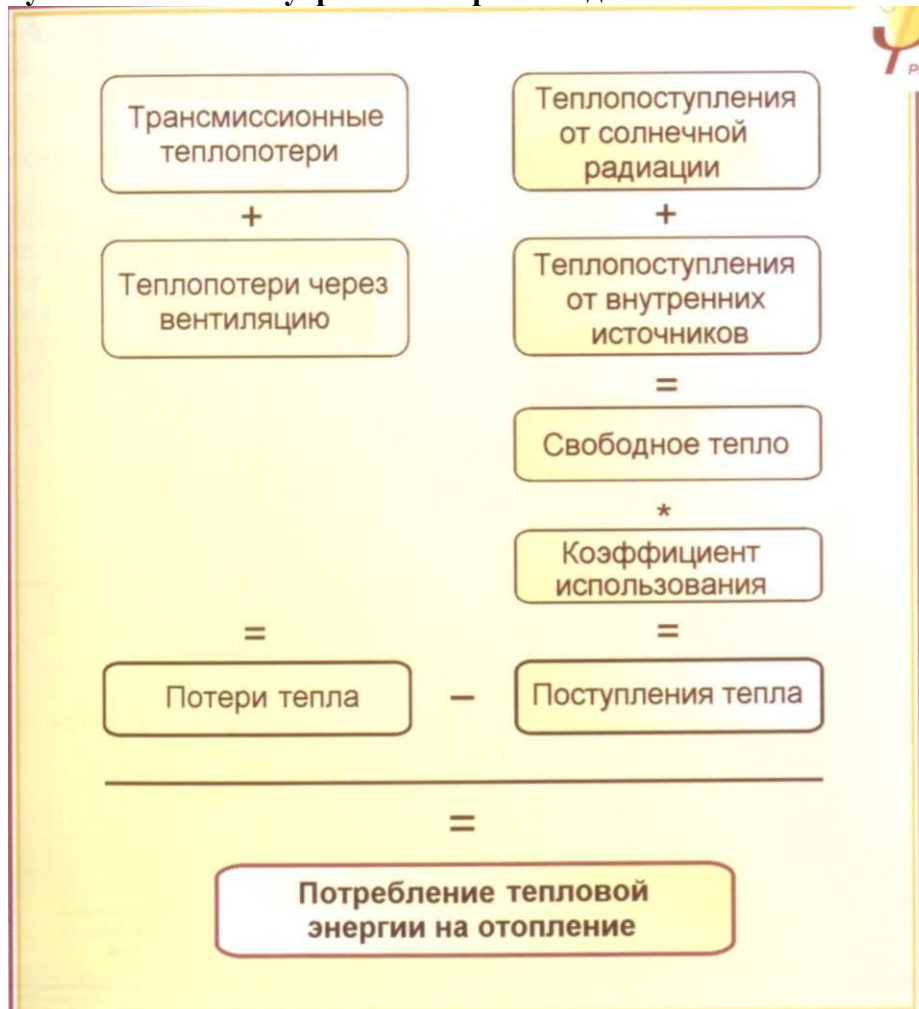


Рис.33. Энергобаланс в пассивном доме

В пределах достаточно длинных периодов времени или при периодически повторяющихся погодных условиях уровень температуры не изменяется между начальным и конечным моментами времени, в этом случае изменение внутренней энергии равно нулю. Это относится, например, к полному годовому периоду: граничные условия в хорошем приближении являются периодическими. Тогда можно считать, что внутренняя энергия в начале и внутренняя энергия в конце равны. Закон сохранения энергии упрощается относительно годового периода и формулируется так:

Сумма всех проникающих потоков энергии (поступления) через оболочку здания за годовой период равна сумме выходящей энергии (потери).

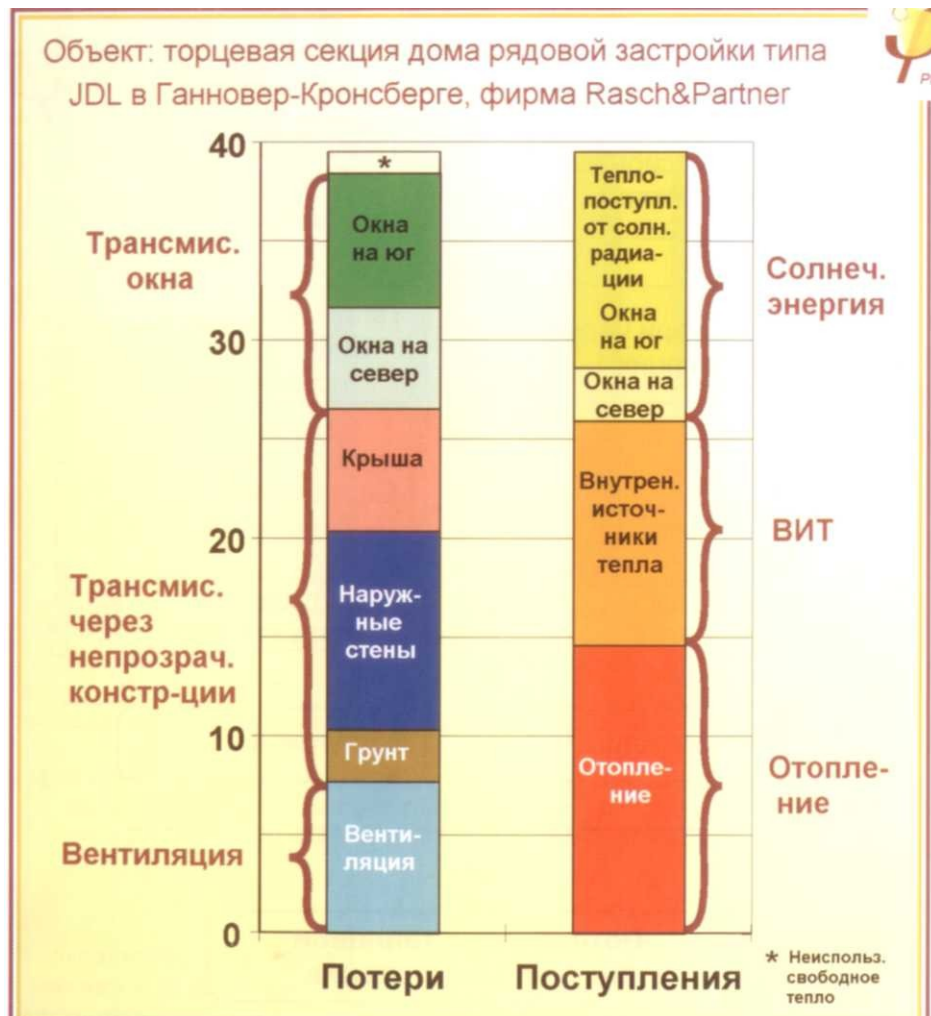


Рис. 34. Годовой энергобаланс для торцевой секции дома в поселке, состоящем из пассивных домов, в Ганновере

На рис. 33 представлен этот тепловой баланс.

Чтобы упростить насколько возможно работу проектировщику, был разработан пакет проектирования пассивного дома (PHPP). При этом речь идет о расчетном пакете, вычисления в котором происходят на отдельных листах, содержащих электронные таблицы с расчетными формулами, которые позволяют провести простой расчет потоков тепла. При этом главный рабочий лист «Тепло на отопление» строго соответствует европейской норме EN 832. Для примера этот лист представлен на последней странице этой главы. Краткую форму метода (PHVP - предварительное проектирование пассивного дома) можно бесплатно загрузить с интернет-страницы (www.passiv.de).

В качестве образца в этой книге представлен годовой тепловой баланс для торцевой секции дома рядовой застройки, расположенной в поселке с пассивными домами в Ганновере (заказчик строительных работ – Rasch&Partner) (рис. 34).

На левой стороне баланса представлены потери, включая неиспользуемое свободное тепло, на правой стороне - теплопоступления. Годовое потребление тепловой энергии на отопление рассчитывается как разность между суммой потерь и суммой свободного тепла (телопоступления от солнечной радиации и внутренние источники тепла).

Трансмиссионные теплопотери (теплопотери через наружные ограждения)

Коэффициенты теплопередачи U для непрозрачных строительных элементов могут рассчитываться с помощью рабочих листов PHPP 99 (Сейчас PHPP 2007. - Прим. перев.) «Определение коэффициента теплопередачи (U) конструкции» («U-Wert») и

«Расчет среднего значения коэффициента теплопередачи конструкций» («Mittel-U»); метод расчета точно соответствует установленному в DIN 4108 (германские промышленные нормы).

Наименование конструкции		Термическое сопротивление $1/\alpha$	Коеф. теплопроводности λ	Толщина d	
		внутри $1/\alpha_i$	$W/(mK)$	мм	
Поверхность 1	Поверхность 2 (орболой)		Поверх. 1	Поверх. 2	
1. Бетон			2.100		165
2. Утеплитель			0.040		400
3. Наружная штукатурка			0.800		10
4.					
5.					
6.					
Доля поверхности 2			Коеффициент теплопередачи U : 0.097 $W/(m^2K)$		Сумма 57.5 см

Рис. 35. Расчетная таблица из РНРР для определения коэффициента теплопередачи наружной стены, U

Потери тепла через ограждающие строительные элементы определяются тогда, как показано в следующей части таблицы, как сумма всех произведений $U \cdot A \cdot f_t \cdot G_t$, (что такое G_t , см. прил. 3. - *Прим. перев.*). В расчетный лист необходимо подставлять только коэффициенты теплопередачи строительных элементов (U_j) и их площади (A_j). Понижающий коэффициент 5, равен либо 1 (для всех площадей, которые граничат с наружным воздухом, также для крыш) или 0,5 (для перекрытий подвала и всех площадей, граничащих с грунтом).

Строительный элемент	Площадь, m^2	Коеф. теплопередачи, U $W/(m^2K)$	Понижающий коэффициент, f_t	G_t W/m^2	Q_T $kWh/year$
1. Фасад массив. констр-я	61.6	0.126	1.0	84	652
2. Фасад облежен. констр-я	82.6	0.097	1.0	84	676
3. Крыша	87.6	0.095	1.0	84	699
4. Грунт	76.0	0.091	0.5	84	290
5. Перепад крыши	3.0	0.110	1.0	84	28
6. Перепад грунта	2.7	0.209	0.5	84	24
7. Окна	20.1	0.832	1.0	84	1405
Трансмиссионные теплотери Q_T					Сумма 3774

Рис. 36. Расчетная таблица из РНРР для определения трансмиссионных теплотерь через ограждающие конструкции, Q_T

Общие удельные температурные теплотери характеризуются трансмиссионной проводимостью H_T . Она состоит из теплотерь на поверхности ($U \cdot A$, т.е. коэффициент теплопередачи-площадь, см. наверху) и эффектов потерь через тепловые мосты ($\psi \cdot 1$). Расчет происходит автоматически в РНРР в листе «Тепло на отопление». Учет всех тепловых мостов в стыках означал бы существенное усложнение расчетов. Опыт показывает, что более целесообразно уменьшать тепловые мосты до пренебрежительно малой величины, чем затрачивать много времени на их подробный расчет. Это ведет к принципу «конструирования без тепловых мостов», который подробно рассматривался в гл. 4. Если проектировщик придерживается этого принципа, то эффекты тепловых мостов вовсе не должны идти в расчет (см. сборник докладов «Конструирование без тепловых мостов» [Feist 1999]). Интересным результатом исследования Института пассивного дома г. Дармштадта (Пассивхаус институт) является то, что в супертеплоизо-лированных конструкциях в самом деле можно полностью избавиться от тепловых мостов (относящихся к внешним размерам теплоизоляционной оболочки).

Вентиляционные теплотери

Пассивные дома очень герметичны (см. гл. 5 этой книги). Герметичная оболочка окружает весь дом, и все стыки тщательно герметично изолируются [Peper/Feist 1999]. Хорошая воздухопроницаемость должна подтверждаться с помощью теста давлением; результаты теста давлением могут вводиться в рабочем листе «Тест давлением» РНРР. Они автоматически учитываются при инфильтрационных потерях в рабочем листе «Вентиляция».

В пассивном доме необходима приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла (см. гл. 7). С помощью РНРР при проектировании в листе «Вентиляция» определяются параметры приточно-вытяжной вентиляции. Основанием для выбора расхода вентиляционного воздуха являются требования германских промышленных норм DIN 1946.

- Условие для приточного воздуха: постоянно обеспечивать приток наружного воздуха 30 м³/ч на человека.
- Условие для отработанного воздуха: воздух отводится через влажные помещения, а именно, ванны 40 м³/ч, души и туалеты 20 м³/ч, а также кухни 40...60 м³/ч.

В итоге для приточного и вытяжного воздуха используется максимум из обоих полученных выше значений. Важно то, что не следует также превышать это значение. Если в основные зимние месяцы осуществляется чрезмерная вентиляция, то это часто приводит к жалобам жителей из-за слишком сухого воздуха.



Площадь на человека	м²/чел.	30			
Количество жильцов	чел.	4			
Объем свежего воздуха на чел.	м³/(чел. ч)	30			
Расход свежего воздуха в час	м³/ч	120			
Помещения с вытяжным воздухом			Кухня	Ванная	Душевая
Количество			1	1	1
Расход вытяжного воздуха на помещение	м³/ч		60	40	20
Общий расход вытяжного воздуха	м³/ч		120		
Средний воздухообмен	м³/ч		120		

(Макс. расход приточ. / отработ. воздуха)

Рис.37. Определение параметров приточно-вытяжной системы вентиляции в листе «Вентиляция» в РНРР

Расчет вентиляционных теплотер строго соответствует европейской норме EN 832. В листе «Тепло на отопление» заносятся средняя кратность воздухообмена системы вентиляции, эффективный КПД теплообменника η_{WRG} , а также КПД грунтового теплообменника цЕШ (если он применяется); тогда КПД всей системы равен

$$\Phi_{WRG} = 1 - (1 - \eta_{LIT}) \cdot (1 - \eta_{WRG})$$

Отсюда на расчетном листе определяется (вместе с кратностью воздухообмена за счет инфильтрации n_{Linf}) действительная энергетическая кратность воздухообмена по формуле

$$n_L = n_{L,Anlage} \cdot (1 - \Phi_{WRG}) + n_{Linf}$$

где $n_{L,Anlage}$ - средняя кратность воздухообмена системы вентиляции.

С этим значением рассчитываются теплотери от вентиляции по формуле:

$$Q_t = n_L \cdot V_L \cdot c_{p,Luft} \cdot G_t$$

где V_L - действительный объем воздуха (отапливаемая площадь • средняя высота по-

мещения); $C_{p, \text{Luft}}$ - удельная теплоемкость воздуха, равная $0,33 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\text{К})$.

Система вентиляции:

Эффективный КД теплообменника: Приток 80%

КД приточного теплообменника: Приток 0%

Энергоэффективный воздухообмен n_e : $0.406 \cdot (1 - 0.80) + 0.030 = 0.111$

Вентиляционные теплопотери Q_L : $296 \cdot 0.111 \cdot 0.33 \cdot 84 = 911$

Рис. 38. Расчет теплопотерь здания через приточно-вытяжную систему вентиляции с рекуперацией тепла, с учетом инфильтрации, Q_L

В построенных до настоящего времени пассивных домах, в которых измерения проводились тщательно, не имеется никаких подтверждений значительных, неконтролируемых, вентиляционных теплопотерь через открытые окна в зимнее время. Поэтому в РНРР также не добавляется никакой дополнительный воздухообмен через окна, который могут создать жильцы.

Теплопоступления от солнечной радиации

Определение энергобалансов окон осуществляется в РНРР в отдельном рабочем листе «Окна». Здесь определяются все величины, снижающие поступления солнечной радиации (например, доля рам, загрязнение и коэффициент общего пропускания солнечной энергии g), так и коэффициент теплопередачи U по германским промышленным нормам DIN 10077. Для этого должны быть известны следующие параметры:

- коэффициент теплопередачи остекления – U_g («glass» - «стекло»);
- коэффициент теплопередачи оконной рамы – U_f («frame» - «оконная рама»);
- линейный коэффициент теплопередачи, учитывающий тепловые мосты по краям остекления в соединении с оконной рамой – ψ_g ;
- линейный коэффициент теплопередачи, учитывающий тепловые мосты при монтаже окна (т.е. оконной рамы) в наружную стену – ψ_{Einbau} .

Для сертифицированных окон, пригодных для пассивного дома, эти характеристики указываются в сертификате; типичные значения указаны в гл. 6 этой книги.

Далее в листе «Тепло на отопление» с учетом ориентации производится расчет величины теплопоступлений через окна от солнечной радиации. Эта величина получается как произведение понижающего коэффициента - g (для загрязнения, затенения, учета доли рамы), коэффициента общего пропускания солнечной энергии через остекление - площади окна – A_p и солнечного излучения - G с учетом соответствующей стороны света:

$$Q_s = g \cdot g \cdot A_p \cdot G$$

В РНРР содержится подпрограмма для точного определения величины солнечной радиации в любом направлении (Интерполяция Фурье). Для районов Германии могут использоваться следующие значения для основных стран света:

Суммарная солнечная радиация юг	ССРЮ	370 кВт·ч/(м²год)
Суммарная солнечная радиация восток	ССРВ	220 кВт·ч/(м²год)
Суммарная солнечная радиация запад	ССРЗ	230 кВт·ч/(м²год)
Суммарная солнечная радиация север	ССРС	140 кВт·ч/(м²год)
Суммарная солнечная радиация на	ССРГ	360 кВт·ч/(м²год)

горизонтальную поверхность	
----------------------------	--

В примере главный фасад здания развернут на 15° относительно южного направления. Поэтому получаются несколько измененные значения суммарной солнечной радиации.

Ориентация площадей окон	Понижающий коэффициент, см. лист Окна	Коэфф-т β (вертикальные окна)	Площадь окон м ²	Суммар. солн. радиация за отопительный период кВт·ч/м ²	кВт·ч/год
1 Восток (+15°)	0.45	*	0.0	*	225
2 Юг (+15°)	0.51	*	11.5	*	364
3 Запад (+15°)	0.45	*	0.0	*	225
4 Север (+15°)	0.43	*	8.6	*	142
5 Горизонтальный	0.45	*	0.0	*	360
Теплопоступления от солнечной радиации Q_S					
					Сумма 1603

Рис.39. Расчет теплопоступлений через окна от солнечной энергии, Q_S

Внутренние источники тепла

Для раздела «внутренние тепловыделения» учитываются все процессы, происходящие с преобразованием энергии, кроме теплопотерь или солнечных теплопоступлений, рассмотренных ранее. Таковыми являются (независимо от знака, так как имеются также внутренние поглотители тепла):

- теплоотдача от жильцов;
- электрическая энергия, используемая не для отопления (например, тепловыделения от бытовых электроприборов);
- тепловыделения от горячей воды;
- потребление тепла холодной водой (тепло, изъятое из помещения, как потери вследствие отбора энергии);
- испарение воды (например, влага от цветочных горшков).

Величина внутренних тепловыделений часто сильно переоценивается. Завышенные значения приведут тогда к более низкому расчетному годовому потреблению тепловой энергии, что особенно заметно проявляется в пассивных домах. Более реалистичный подход приводит для пассивного дома к величине тепловыделений от внутренних источников тепла $Q_I = 11 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$. Это соответствует величине $2,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ см. рис. 40. В качестве сравнения: в энергосберегающем постановлении EnEV устанавливается $5 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Коэффициент использования солнечной радиации

В предшествующих главах происхождение свободного тепла объяснялось как сумма двух величин:

- солнечная радиация;
- внутренние источники тепла.

Текущая величина свободных теплопоступлений равна:

$$Q_F = Q_S + Q_I.$$

Использование этой величины не обязательно соответствует периоду времени, когда происходят теплопотери в здании. Свободное тепло появляется вследствие теплопоступлений от солнечной радиации при благоприятных условиях погоды, от жильцов и бытовой техники. По этой причине не все имеющееся в наличии свободное тепло является автоматически пригодным для использования. Бывает так, что

солнечные и внутренние теплопоступления нагревают помещение больше, чем необходимо. В таком случае теплопотери повышены; благодаря более высокой разнице температур возникают более высокие трансмиссионные и вентиляционные теплопотери. Если существует избыточное количество свободного тепла, то избыточные температуры могут временно даже потребовать дополнительного проветривания. Это ведет к значительному повышению теплопотерь.

Величину используемой доли свободных теплопоступлений показывает коэффициент использования солнечной радиации η_G (см. рис. 40). Коэффициент использования солнечной радиации сильно зависит от отношения свободных теплопоступлений $Q_F = Q_S + Q_I$ к потерям $Q_V = Q_T + Q_L$. Это отношение называется также «отношение свободных теплопоступлений к теплопотерям»:

$$\gamma = Q_F / Q_V = (Q_S + Q_I) / (Q_T + Q_L).$$

Эффект перегрева нужно ожидать прежде всего тогда, когда при значительных свободных теплопоступлениях имеются незначительные теплопотери. При совсем незначительных поступлениях от солнечной радиации использование свободного тепла, напротив, становится эффективным с коэффициентом использования почти 100%. Если возрастает величина отношения свободных теплопоступлений к теплопотерям, то степень использования солнечной радиации уменьшается, потому что возникающие эффекты перегрева выражены сильнее. Коэффициент использования солнечной радиации в решающей мере зависит от здания. Сколько свободного тепла может использоваться, зависит не только от окна и его характеристик, но и от всех остальных параметров здания.

Пригодные для использования теплопоступления определяются теперь так:

$$Q_G = \eta_G \cdot Q_F = \eta_G \cdot (Q_S + Q_I).$$

Коэффициент использования солнечной радиации зависит от соответствующего здания и может составлять от 40 до 100%. В зданиях с низким энергопотреблением (выполненных в соответствии с требованиями EnEV) значения коэффициента использования находятся в пределах 90...98%. Поэтому использование теплопоступлений от солнечной радиации в зданиях с низким энергопотреблением примерно на 2... 10% меньше, чем возможно. В пассивных домах коэффициенты использования солнечной радиации в отопительный период могут быть еще меньше: они могут опускаться ниже 50%, если имеются значительные теплопоступления от внутренних источников тепла и большие окна. Однако по-прежнему при разумных решениях также возможны значения от 95 до 98%.

Годовое потребление тепловой энергии на отопление

Годовое потребление тепловой энергии на отопление теперь рассчитывается из теплопотерь и теплопоступлений по формуле

$$Q_H = Q_T + Q_L - \eta_G (Q_I + Q_S)$$

Q_H равна той необходимой малой потребности в энергии, которая еще требуется, чтобы выровнять баланс между теплопотерями и пригодными для использования теплопоступлениями.

Все полученные величины в уравнении прежде были рассчитаны в RHPP. Сам баланс автоматически устанавливается в последней строке листа «Тепло на

отопление».

Используя рабочие листы РНРР, возможно простым способом изучать влияние различных изменений на годовое потребление тепловой энергии на отопление. Проектировщик может проводить это сам и вместе с тем приобретать опыт для того, чтобы знать, какие параметры особенно значимы в энергетическом балансе здания.

РНРР - Показатель потребления тепловой энергии на отопление

Климат: Германия
 Объект: Пассивный дом - торц. квартира, Jangster de Lück
 Местоположение: Ганновер-Кронсберг

Тип здания/назначение: Таунхаус / жилье
 Энергозависимая площадь A_{EV} : 118.3 м²
 Стандарт, кол-во жильцов: 4 Чел. на м²

Строительная конструкция	Площадь, м²	Коефф. тепло-передачи, U (Вт/м²K)	Понижающий коефф-т, ξ	Q_{tr} кВт/год	кВт ч / год
1 Фасад, облегчен. констр-я	61.6	0.126	1.0	84	652
2 Фасад, массив. констр-я	82.6	0.097	1.0	84	676
3 Крыша	87.6	0.095	1.0	84	689
4 Грунт	76.0	0.091	0.5	84	290
5 Перепад крыши	3.0	0.110	1.0	84	28
6 Перепад грунта	2.7	0.209	0.5	84	24
7 Окна	20.1	0.832	1.0	84	1405
8 Учет тепловых мостов	79.1	-0.021	1.0	84	-137
Сумма				3637	30.7

Трансмиссионные теплотери Q_{T}

Вентиляционная установка: Эффективный объем воздуха V_{eff} м³: 118.3 * 2.50 = 296
 Эффективный КПД теплообменника: прямо 80%
 КПД приточного теплообменника: приток 0%
 Энергоэффективный воздухообмен λ_v : $0.406 \cdot (1 - 0.80) + 0.030 = 0.111$

Вентиляционные теплотери Q_{v}

Q_{v} кВт/год: $296 \cdot 0.111 \cdot 0.33 \cdot 84 = 911$ кВт ч / год: 7.7

Сумма теплотери Q_{v}

Q_{v} кВт/год: $3637 + 911 = 4547$ кВт ч / год: 38.4

Теплопоступления от солнечной радиации Q_{S}

Ориентация площадей окон: 2 Sud (+15°): 0.51 * 0.60 * 11.5 = 364 кВт ч / год: 1288
 4 Nord (+15°): 0.43 * 0.60 * 8.6 = 142 кВт ч / год: 314
 Сумма: 1603 кВт ч / год: 13.6

Внутр. источники тепла Q_{I}

Продолжительн. отопит. периода сут/год: 0.024 * 225 = 2.1
 Удельная нагрузка q Вт/м²: 118.3 * 2.1 = 1341 кВт ч / год: 11.3
 Свободное тепло Q_{f} : $Q_{\text{I}} + Q_{\text{S}} = 2944$ кВт ч / год: 24.9
 Отношение свобод. тепла к потерям: $Q_{\text{f}} / Q_{\text{v}} = 0.647$
 Коефф. использования теплопоступлений η_{S} : $(1 - (Q_{\text{v}} / Q_{\text{f}})^2) / (1 - (Q_{\text{v}} / Q_{\text{f}})^2) = 0.957$
Теплопоступления Q_{D} : $\eta_{\text{S}} \cdot Q_{\text{f}} = 2817$ кВт ч / год: 23.8
Потребление тепловой энергии на отопление Q_{H} : $Q_{\text{v}} - Q_{\text{D}} = 1731$ кВт ч / год: **14.6**

Рис. 40. Расчет потребления тепловой энергии на отопление, Q_{H}

