

Глава 2

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И «ПАССИВНЫХ» ДОМОВ

«Пассивный дом» (нем. Passivhaus, англ. Passive house) — это строительный стандарт, который не только позволяет строить энергетически эффективные и экономичные в эксплуатации здания, но и создает комфортные условия проживания, а также оказывает минимальное негативное влияние на окружающую среду. Пассивный дом — это не бренд, а целая строительная концепция, которая явилась результатом совершенствования технологий строительства и теплозащиты за последние 30 лет. В схематичном виде история развития строительных стандартов и технологий — начиная с 1980-х годов прошлого века и до наших дней, а также на ближайшую перспективу — представлена на рис. 2.1.

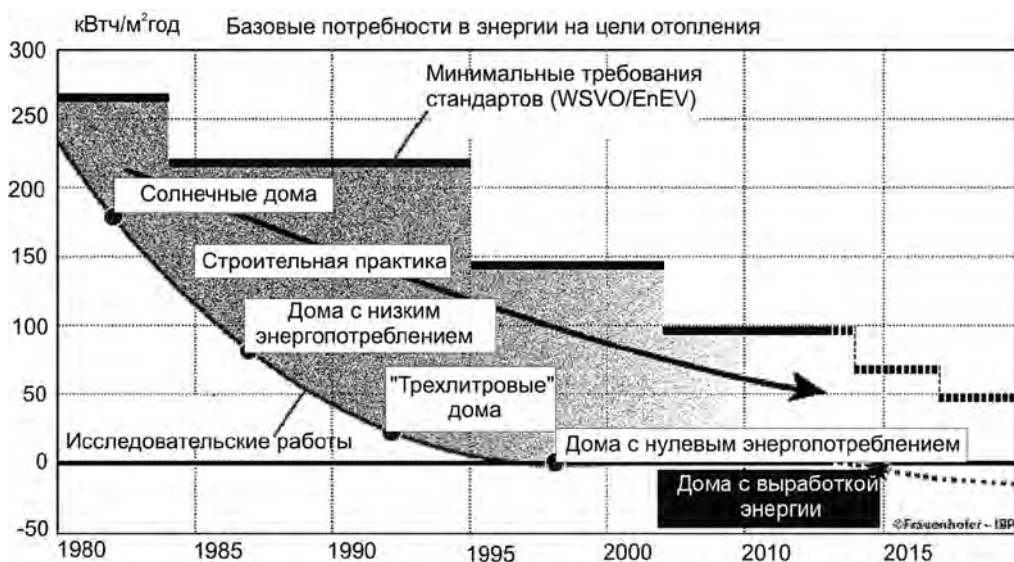


Рис. 2.1. История развития строительных стандартов и соответствующих им законодательных актов, принятых правительством Германии, с точки зрения потребностей в энергии на нужды отопления.

Источник: «Материалы Фраунгоферовского института строительной физики» (Fraunhofer Institut für Bauphysik)

Как уже отмечалось ранее, энергосбережение является лишь частью еще более общей и важной концепции — экологического (или так называемого *зеленого*) строительства. Динамика развития одного из «зеленых стандартов», DGNB (который считается наиболее прогрессивным, так как является рейтинговой си-

стемой второго поколения), с момента его публикации и до конца 2010 года представлена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Динамика развития стандарта экологического строительства DGNB с момента его публикации

При этом строительная концепция не просто пассивного, но и экологически чистого дома доступна для всех и убедительно доказала свое преимущество на практике. Под *пассивным домом* понимается дом, который теплоизолирован настолько эффективно, что на его отопление требуется не более 15 кВтч/(м² · год). При столь низком потреблении энергии (фактически это означает, что на отопление многоквартирного дома в течение года сжигается от 200 до 300 л жидкого котельного топлива) оставшиеся потребности в обогреве могут быть удовлетворены за счет подогрева свежего воздуха, поступающего в дом через управляемую вентиляционную систему. Владельцы многих пассивных домов полностью отказались от традиционных отопительных котлов и обеспечиваемых ими систем парового отопления и горячего водоснабжения. В Германии и других европейских странах стандарт на пассивный дом в будущем должен вытеснить строительные стандарты, действующие на текущий момент.

Индекс HERS

В то же самое время в США действует система оценки энергетического рейтинга дома — так называемый индекс HERS (Home Energy Rating System). Индекс HERS представляет собой рейтинговую систему, разработанную сетью энергетических компаний Residential Energy Services Network, RESNET (см. далее). В соответствии с рейтинговой системой HERS дом, возведенный по спецификации типового дома HERS, построенной на основе Международного кодекса по энергосбережению (International Energy Conservation

Code)¹, получает рейтинг HERS, равный 100, а «нулевой дом» (Zero Energy House, ZEH) — индекс, равный нулю (рис. 2.3). Таким образом, чем ниже рейтинг HERS, тем выше энергетическая эффективность дома. Снижение индекса HERS на один пункт соответствует снижению потребления энергии на один процент по сравнению с типовым домом HERS. Для коммерческих зданий и многоквартирных домов в США действует система оценки COMNET, которую можно рассматривать в качестве аналога RESNET, только для коммерческого сектора. Система состоит из технического компонента, который занимается разработкой правил и процедур для энергетического моделирования, а также аттестацией и контролем качества среди разработчиков энергетической модели и аудиторов. Рейтинг COMNET позволяет владельцам зданий претендовать на льготное налогообложение.

Сеть RESNET

Сеть энергетических служб жилого сектора (RESNET) — это национальная неправительственная организация, которая разработала стандарты и сертифицирует специалистов по энергетическому аудиту и оценке энергосбережения в жилых домах. Рейтинг RESNET включает как расчетные показатели, так и проверку с выездом на место, которую проводит сертифицированный специалист².



Рис. 2.3. Оценка энергетической эффективности дома по рейтингу HERS

¹ См. http://reca-codes.org/pages/current_code.html, <http://www.energycodes.gov/residential.stm>, http://en.wikipedia.org/wiki/International_Energy_Conservation_Code.

² См. <http://www.imt.org/files/FileUpload/files/Rating%20System%20Paper%20rus.pdf>.

Разумеется, принципы строительства пассивных зданий в том виде, в котором они изначально были представлены Вольфгангом Файстом (см. введение), справедливы для стран с умеренным климатом. Применительно к суровым климатическим условиям России некоторые из этих положений требуют пересмотра или коррекции. Естественно, пассивный дом, оптимизированный для климатических условий Германии и Средней Европы, нельзя непосредственно и без доработки применить для той части России, где проживает большинство ее жителей. Например, согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003, принятая взамен СНиП II-3-79), требуемый удельный расход тепловой энергии на отопление за отопительный период для одноквартирных отдельно стоящих и сблокированных домов этажностью от 1 до 4 этажей, а также многоэтажных зданий, должен составлять от 95 до 195 кВтч/(м² · год). Реальный же расход, особенно для старых зданий, превышает даже эти показатели в несколько раз.

И хотя, например, такой низкий показатель, как расход энергии на отопление не более 15 кВтч/(м² · год), в наших условиях достижим со значительными оговорками, вполне реально стремиться к таким величинам удельного расхода на отопление, как 25–35 кВтч/(м² · год), что примерно соответствует так называемому стандарту «трехлитрового дома» (см. рис. 2.1). Даже этот показатель существенно лучше, чем требования нашего СП, и уже это позволит добиться значительной экономии энергии. В настоящее время в России энергетические паспорта в том виде, в котором они используются, рассматривают только нормы по теплозащите, включая ограждающие конструкции, и в целом энергетическую эффективность всей системы доставки тепла, однако не учитывают освещение и вентиляцию.

При этом основные принципы энергетически эффективного строительства универсальны, и богатый опыт Института пассивного дома, безусловно, следует изучать и осваивать. На сегодняшний день в России этим занимается НП («Некоммерческое Партнерство») АВОК и профессиональное сообщество «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике».

Вкратце концепция пассивного дома выглядит следующим образом (рис. 2.4):

- снижение тепловых потерь за счет улучшенной теплоизоляции стандартных строительных элементов (кровля, стены, полы), уменьшение или полная ликвидация «тепловых мостиков», герметизация оболочки здания, формируемой его ограждающими конструкциями, применение специальных окон, предназначенных именно для пассивного дома;

³ См. <http://www.abok.ru/>

⁴ «Тепловые мостики» – это «слабые места» в теплоизоляции здания, где происходят наиболее масштабные утечки тепла через небольшие участки поверхности. Они будут подробно рассматриваться далее в этой главе.

- оптимизация тепловых поступлений за счет применения вентиляционной системы с рекуперацией тепла из вытяжного воздуха, а также использования альтернативных источников энергии (тепловых насосов, грунтовых теплообменников, солнечных коллекторов и др.).

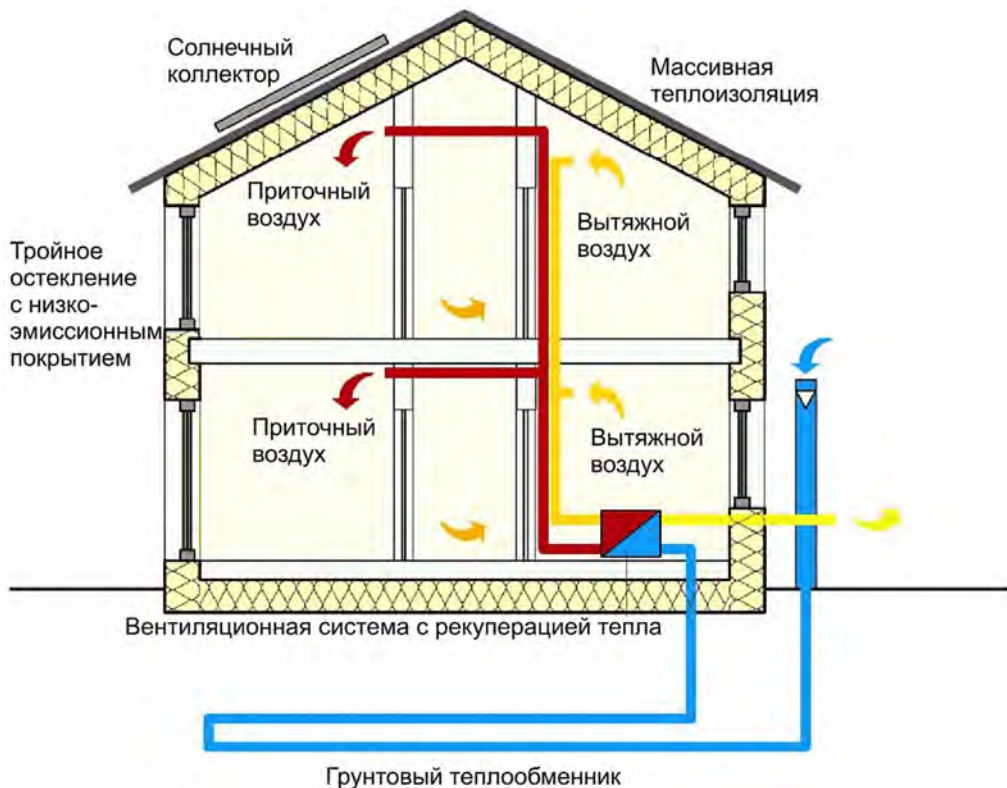


Рис. 2.4. Разрез пассивного дома, иллюстрирующий принципы его функционирования: массивная теплоизоляция; специальные окна, сертифицированные для пассивных домов; система вентиляции с рекуперацией тепла; использование альтернативных источников энергии

Чтобы обеспечить столь жестко заданную требуемую величину удельного расхода тепловой энергии на отопление, равную $15 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, для пассивных домов в климате Средней Европы со временем был установлен ряд обязательных требований:

- коэффициенты теплопередачи U для наружных стен, кровли и полов первого этажа должны составлять менее $0,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ (или $R_0 \geq 6,7 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$, где $R_0 = 1/U$)⁵;
- для остекления: $U_{\text{ост}} \leq 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ или $R_0 \geq 1,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$;

⁵ Коэффициент сопротивления теплопередаче (R) — величина, обратная коэффициенту теплопроводности U . Применяется в российских СП.

- для оконного профиля: $U_{\text{проф}} \leq 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ или $R_0 \geq 1,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$;
- приведенный коэффициент теплопередачи окна с учетом монтажа в стену: $U_{\text{окн}} \leq 0,85 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ или $R_0 \geq 1,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$;
- максимально возможное снижение негативного эффекта от «тепловых мостиков» (это влияние можно не учитывать, если линейный коэффициент теплопередачи $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$);
- чтобы обеспечивался эффективный возврат тепла, КПД рекуператора должен составлять не менее 75 % (рекомендованные значения — 80 % и более);
- должна обеспечиваться герметичность наружной оболочки здания; кратность воздухообмена⁶ при разности давлений наружного и внутреннего воздуха $\Delta P = 50 \text{ Па}$ должна составлять $n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$.

В этой главе мы рассмотрим следующие важные разделы, касающиеся строительства зданий с низким потреблением энергии и пассивных домов:

- конструирование без «тепловых мостиков»;
- воздухопроницаемость;
- контроль уровня влажности.

Общие понятия тепловой защиты зданий

Задачи тепловой защиты зданий не сводятся только к экономии энергии. Энергетически эффективные здания должны обеспечивать комфортные условия проживания и здоровый микроклимат в помещениях. Но что конкретно подразумевается под комфортными условиями и каково их точное определение?

Ощущение комфорта в помещениях

В общем случае комфорт в помещении зависит от следующих факторов:

- температуры внутреннего воздуха в помещениях;
- температуры внутренних поверхностей стен, ограждающих помещение;
- температуры поверхности пола;
- относительной влажности воздуха в помещениях;
- скорости движения воздуха;
- вида деятельности человека.

Температурные режимы в помещении

Стандартные показатели микроклимата в помещении, обеспечивающие комфортное самочувствие человека, перечислены в табл. 2.1.

⁶ Кратность воздухообмена — это величина, значение которой показывает, сколько раз в течение 1 ч воздух в помещении полностью заменяется на новый.

При этом под суммарной температурой помещения t_M понимается сумма температуры воздуха в помещении t_i и средней температуры внутренних ограждающих поверхностей помещения t_p :

$$t_M = t_i + t_p; \quad (2.1)$$

$$t_p = \frac{t_{p1}S_1 + t_{p2}S_2 + \dots + t_{pn}S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (2.2)$$

где $t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pn}$ — температуры внутренних поверхностей отдельных строительных конструкций; S_1, S_2, \dots, S_n — площади этих конструкций; n — количество отдельных типов строительных конструкций.

Таблица 2.1

**Параметры окружающей среды,
обеспечивающие комфортное самочувствие человека**

Тип здания		Температура воздуха в помещении t_p , °С	Суммарная температура t_M , °С	Относительная влажность воздуха ϕ , %	Скорость воздуха, м/с
Жилые и общественные		20–22	38	40–60	< 0,1
Производственные (в зависимости от вида работы)	Сидячая	18–20	36	50–60	< 0,15
	Легкая	16–18	32–36	50–60	< 0,15
	Средняя	14–16	26–32	50	< 0,2
	Тяжелая	12–14	20–26	45	< 0,2

Чтобы микроклимат в помещении воспринимался как благоприятный, там не должно быть ни слишком жарко, ни слишком холодно. Кроме того, повышенная относительная влажность воздуха (свыше 70 %) воспринимается как неприятные условия, и наоборот, жильцы начинают жаловаться, если воздух в занимаемых ими помещениях слишком сухой (если его относительная влажность составляет менее 40 %). Летом небольшой сквознячок воспринимается как приятная прохлада, в то время как в более холодные времена года он вызывает неприятное ощущение озноба. Тем не менее, до известной степени проветривать помещения необходимо и зимой — чтобы удалять из воздуха неприятные запахи и избыточную влагу. Небольшие колебания температуры способствуют кругообороту воздуха, в то время как чрезмерные температурные скачки вызывают цепную реакцию простудных заболеваний.

Таким образом, условия, приведенные в табл. 2.1, являются необходимыми, но недостаточными для комфортности микроклимата. Важную роль играют не только эти параметры, но и разница между температурой воздуха в помещении и температурами внутренних поверхностей ограждающих конструкций. Эти значения, в зависимости от типа конструкций и их назначения, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Допустимые перепады температур между внутренним воздухом
и поверхностями строительных конструкций**

Тип здания		Конструкции					
		Наружные			Внутренние		
		Вертикальные	Горизонтальные		Вертикальные	Горизонтальные	
			Плоские кровли	Полы		Потолки	Полы
Жилые и общественные		4	2,2	3	4	4	3
Производственные (в зависимости от вида работы)	Сидячая	6	4	3	6	6	3
	Легкая	6	5	3	6	6	3

На диаграмме, представленной на рис. 2.5, показана зависимость комфортности микроклимата в жилом помещении от температур поверхностей и температуры воздуха. На диаграмму нанесены температуры внутренних поверхностей наружной стены и окна с двойным стеклопакетом в холодный зимний день. Как можно видеть, при высокой температуре поверхности стены (выше 18 °С) необходимый уровень комфорта достигается при более низких температурах воздуха в помещении.

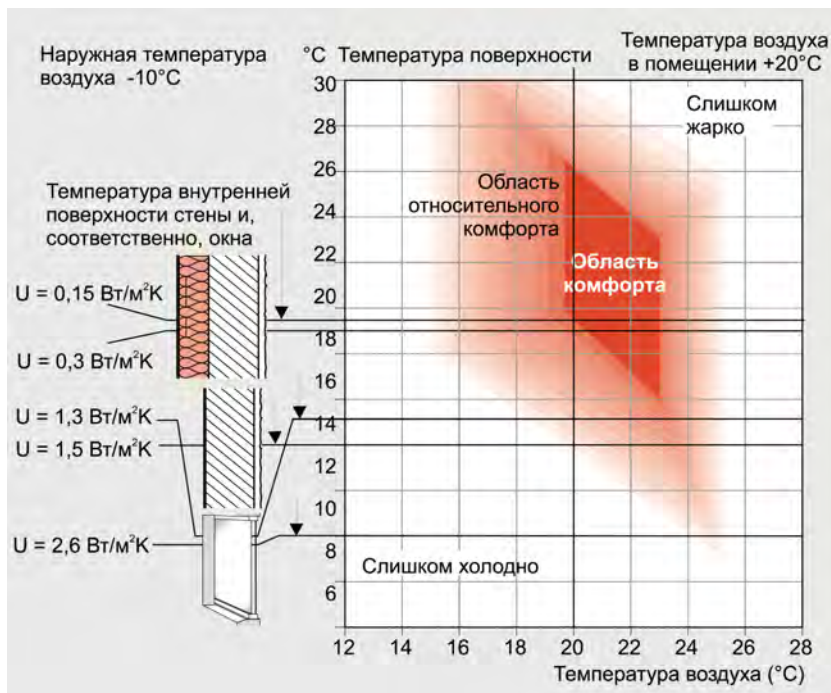


Рис. 2.5. Влияние температуры поверхности стен и воздуха в помещении на общую комфортность микроклимата. Источник: Humm O. Niedrigenergie und Passivhäuser. Staufen, 1998

Таким образом, человек и зимой, и летом чувствует себя комфортно в помещении, где температура воздуха составляет от 20 до 22 °С, относительная влажность воздуха — от 40 до 60 % и где температура стен и потолков зимой не более, чем на 4–6 °С ниже, а летом — не более, чем на 4–6 °С выше температуры воздуха в помещении.

Что касается температур полов, то вследствие непосредственного контакта с телом человека через подошвы ног, справедливы другие значения. Чтобы не отбирать у человека слишком много тепла, температура пола не должна быть ниже 15–20 °С. При этом оптимальной и приятной считается температура пола от 22 до 24 °С. Согласно диаграмме, представленной на рис. 2.6, температура пола 15 °С ощущается еще приемлемой, если человек пребывает в помещении не более 3 ч; затем пол начинает казаться прохладным, а через 3,8 часа — уже холодным.

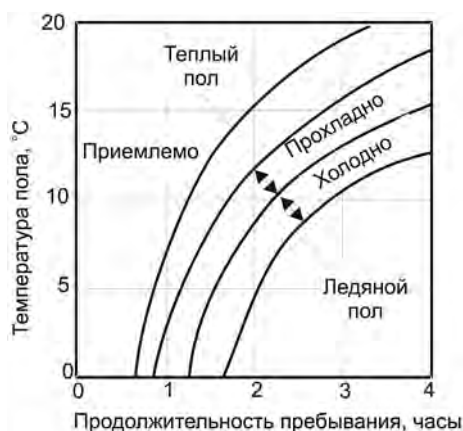


Рис. 2.6. График распределения комфортных температур пола в зависимости от продолжительности пребывания человека в помещении

В случае применения напольного отопления (теплые полы) температура пола не должна превышать 30 °С.

Относительная влажность воздуха в помещениях

Что касается относительной влажности воздуха, то человек чувствует себя некомфортно, когда температура воздуха падает ниже 16 °С или возрастает выше 26 °С, независимо от относительной влажности воздуха (рис. 2.7). В пределах относительно комфортного диапазона температур мы ощущаем меньшие значения относительной влажности как более комфортные.

Циркуляция воздуха в помещениях

Движение воздуха в помещениях может происходить через проколы, щели и разрывы в оболочке здания (крыши, щели в окнах, негерметичные двери), а так-

же за счет конвекции внутри здания. Если внутренние поверхности стен имеют низкие температуры, то из-за большой разницы между температурой воздуха в помещении и температурами поверхности стен, вблизи стен происходит конвекция, которая ощущается человеком как сквозняк.

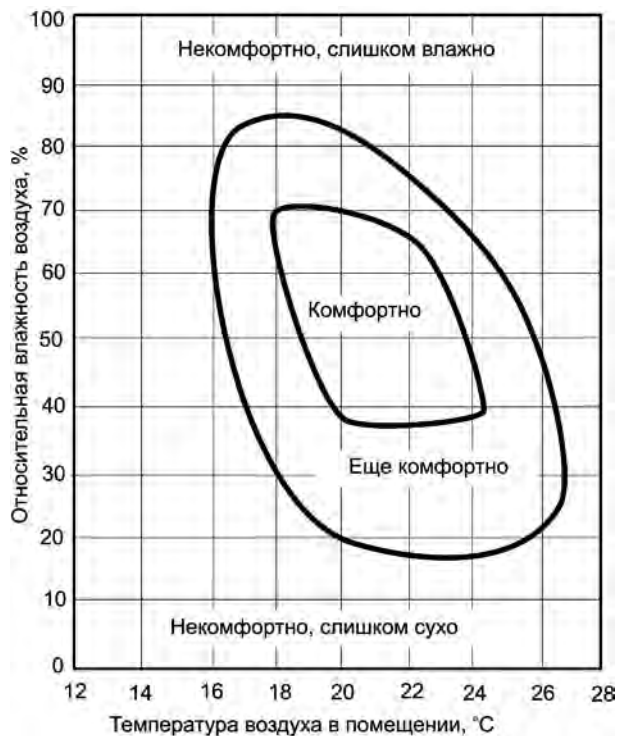


Рис. 2.7. Относительная влажность воздуха и ощущение комфорта

Теплоизоляция здания

Основные требования

Более 70 % всех тепловых потерь существующих зданий, построенных до разработки концепции энергетически эффективных и пассивных домов, приходится на утечки тепла через наружные стены и крыши. Поэтому совершенствование теплоизоляции является важнейшим мероприятием по сбережению энергии. Оно приводит к значительному повышению комфорта и прекрасно защищает от воздействия атмосферных явлений. Причем качественная и высокоэффективная теплоизоляция играет важную роль не только для пассивных домов. За счет осознанного проектирования новых домов с усиленной теплоизоляцией, а также

реконструкции зданий старой постройки путем усиления существующей теплоизоляции можно добиться значительной экономии энергии.

Пассивный дом просто не смог бы функционировать, если бы тепловые потери через наружные конструкции не были сокращены до минимума. Только при этих условиях даже в самые холодные дни значение отопительной нагрузки можно будет снизить настолько, чтобы стало возможным отопление дома только с помощью нагрева приточного воздуха (либо с помощью небольших отопительных приборов). Чтобы добиться этого на практике, необходимо составить энергетический баланс здания. Такие балансы подтверждаются прямыми измерениями в сотнях зданий.

Принципиальная схема теплоизоляции энергетически эффективного здания показана на рис. 2.8. Принцип энергетически эффективных зданий состоит в том, что теплоизоляционная оболочка, устроенная вокруг всего здания, не должна иметь разрывов. Она уменьшает тепловые потери так же, как и теплое пальто в холодную погоду. Поскольку большинство теплоизоляционных материалов не являются герметичными, кроме теплоизоляционной оболочки, необходимо создавать и воздухопроницаемую оболочку по всей внутренней поверхности ограждающих конструкций здания.

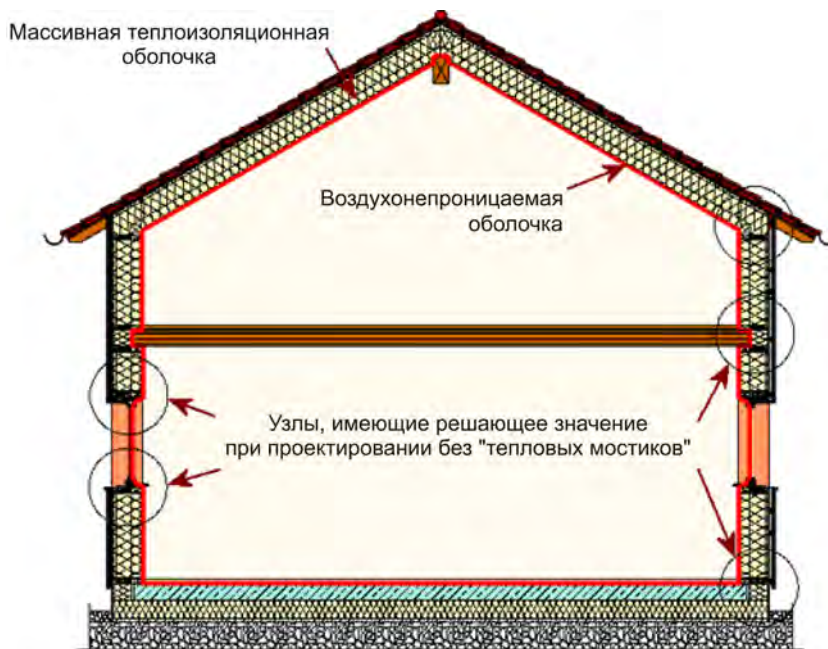


Рис. 2.8. Принципиальная схема устройства теплоизоляции энергетически эффективного здания

Наружная оболочка здания тоже должна быть по возможности герметичной. Это относится не только к пассивным зданиям. Лишь благодаря герметичности наружной оболочки можно предотвратить нарушения и повреждения строитель-

ных конструкций, возникающие при истечении теплого воздушного потока с водяными парами изнутри наружу (рис. 2.9). Продуваемые негерметичные жилые помещения сегодня являются проблемными. Требуемая в настоящее время повышенная герметичность зданий должна соответствовать применяемым строительным технологиям, что можно признать положительным явлением. А для комфорта пассивного дома эти требования должны соблюдаться тем более.

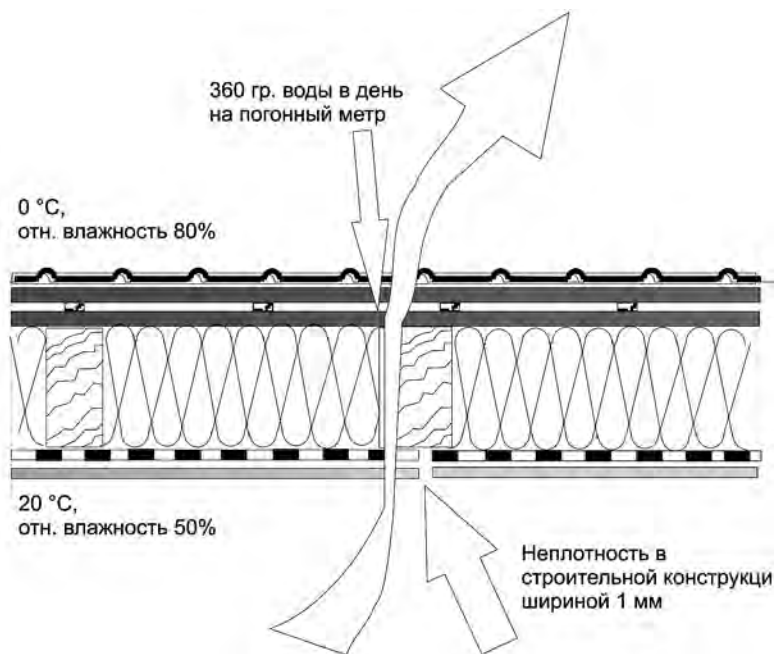


Рис. 2.9. Проблемный случай: направление теплого воздушного потока с водяными парами изнутри наружу через разрыв в герметичной оболочке (щель) в строительной конструкции

Воздухонепроницаемость и теплоизоляция

Воздухонепроницаемость (герметичность) нельзя путать с теплоизоляцией. Оба этих показателя важны для оболочки здания, но они должны удовлетворять предъявляемым к ним требованиям независимо друг от друга.

На рис. 2.10 показаны ограждающие конструкции типичного сборно-щитового дома, нуждающиеся в теплоизоляции.

В неотделанных чердачных помещениях необходимо установить теплоизоляцию между балочными перекрытиями и поверх полов (1), чтобы отделить от чердака расположенные ниже жилые помещения. Дополнительно следует теплоизолировать двери, ведущие в чердачные помещения (1А). В отделанных (жилых) чердачных помещениях нужно установить теплоизоляцию между стойками деревянных каркасов короткой чердачной стены (2А), между стойками деревянных каркасов наружных стен и между стропилами (2В), а также утеплить потолки, от-

деляющие жилое пространство от неотапливаемых помещений, расположенных выше (2C). Кроме того, необходимо продлить слой теплоизоляции между несущими балками перекрытия, чтобы избежать появления сквозняков (2D).

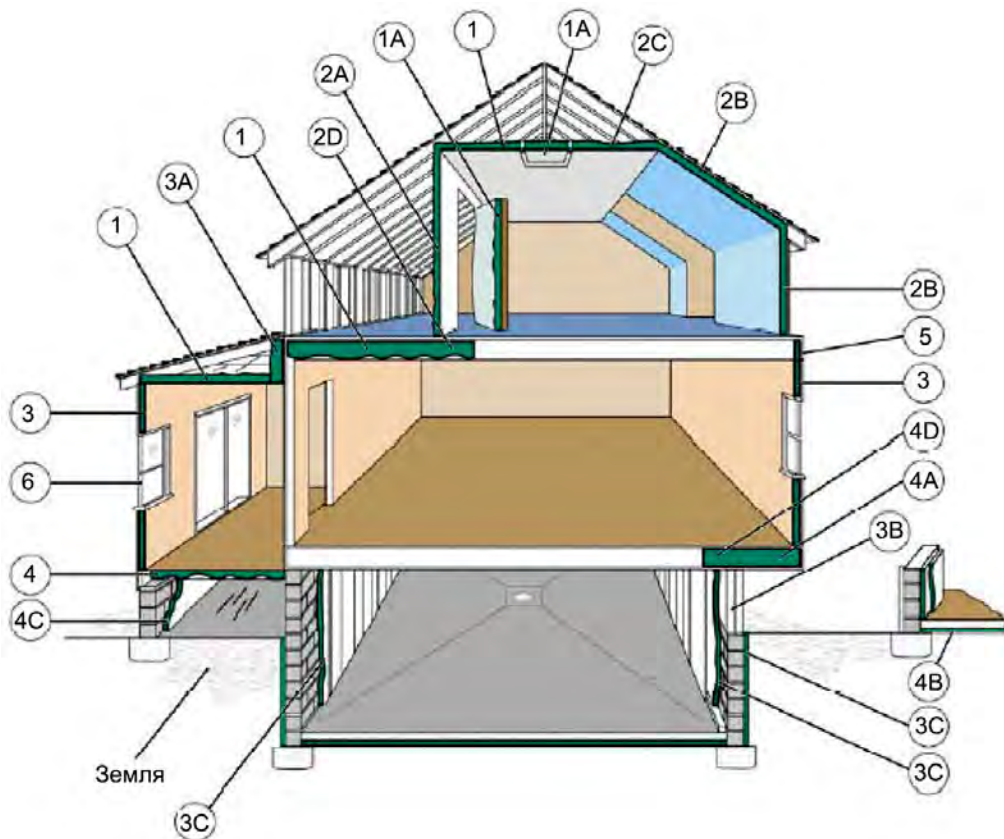


Рис. 2.10. Ограждающие конструкции типичного сборно-щитового дома, в первую очередь нуждающиеся в теплоизоляции

Далее, должны быть теплоизолированы все наружные стены (3), в том числе стены, отделяющие жилые помещения от неотапливаемых пристроек, складских помещений, односкатных шедовых крыш (3A), фундаментные стены над уровнем земли (3B), а также все наружные стены отапливаемых подвальных помещений (3C) (либо изнутри, либо снаружи). Что касается полов над неотапливаемыми пространствами (4), то теплоизолировать необходимо любые области пола, выступающие за пределы расположенной ниже несущей наружной стены (4A); полы над плитами основания, расположенными на уровне земли (4B); несущие стены не-вентилируемых полупроходимых технических подполий (4C). Слой теплоизоляции должен быть продолжен в межбалочные пространства перекрытий с тем, чтобы избежать сквозняков (4D). Наконец, необходимо теплоизолировать балки (5), а также окна и двери (6).

Расчет теплоизоляции

Чтобы самостоятельно выполнить расчет теплоизоляции, необходимо разобраться с основными понятиями, которые имеют разный физический смысл, хотя на первый взгляд означают одно и то же. Именно поэтому и следует рассмотреть их максимально внимательно.

Коэффициент теплопроводности λ

Теплопроводность — это перенос тепловой энергии структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами) в процессе их теплового движения. Явление теплопроводности подчиняется закону теплопроводности Фурье, который, если речь идет о стационарном потоке тепла от одной грани параллелепипеда к другой, выражается так:

$$P = -\lambda \frac{S \Delta T}{h}, \quad (2.3)$$

где P — полная мощность тепловых потерь; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); S — площадь сечения параллелепипеда; ΔT — перепад температур граней, К (при измерении температурных перепадов 1 К приблизительно совпадает с 1 градусом по шкале Цельсия (1 °С)); h — длина параллелепипеда (расстояние между его гранями).

Коэффициент теплопроводности λ конкретного материала характеризует способность этого материала проводить тепло.

Коэффициент теплопередачи U

Коэффициент теплопередачи U , Вт·с, показывает, какое количество тепловой энергии проходит через 1 м² поверхности однородной ограждающей конструкции за 1 с при заданной разности внешней и внутренней температур в 1 К. Размерность этого показателя — Вт/(м²·К). Коэффициент теплопередачи показывает, насколько хорошо элемент конструкции (крыша, стена, пол) проводит тепло. Чем ниже этот показатель, тем хуже пропускается тепло и тем лучше теплоизоляция. Коэффициент теплопередачи — это предпочтительный способ сравнения энергетической эффективности строительных конструкций.

Пример

Физический смысл коэффициента теплопередачи можно пояснить следующим примером. В начале XX века внешние стены дома строили из полнотелого кирпича. Как правило, такая стена имела толщину 24 см и покрывалась с двух сторон слоем штукатурки толщиной 1,5 см. Коэффициент теплопередачи такой стены составляет примерно 2 Вт/(м²·К). При разности температур в 1 К (например, 21 °С внутри помещения и 20 °С — снаружи) потеря энергии составляет 2 Вт на 1 м² поверхности⁷. Стена площадью 30 м² (12·2,5) теряет

⁷ Напомним, что при замере температурных перепадов (разностей температур) 1 К примерно равен 1 °С.

примерно 60 Вт. При понижении внешней температуры соответственно увеличивается и потеря энергии. При внешней температуре 0 °С разница составит 21 градус, а потеря тепла за 1 ч будет равна $1 \cdot 21 \text{ К} \cdot 60 \text{ Вт/К} = 1260 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$, или $1,26 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. За 24 ч получается $24 \cdot 1,26 \text{ кВт} = 30 \text{ кВтч}$, что соответствует сжиганию топлива объемом 3 л.

Сопrotивление теплопередаче R

Сопrotивление теплопередаче (R) представляет собой величину, обратную коэффициенту теплопередачи (U) и, соответственно, описывает, насколько хорошо конкретный материал сопротивляется передаче тепла. Чем выше сопротивление теплопередаче, тем лучше теплоизоляция. Размерность этого показателя — $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Коэффициент теплообмена α

Коэффициент теплообмена α выражает количество тепла, которое за одну секунду обменивается между 1 м^2 твердой поверхности и касающимся его воздухом, когда разница температур между поверхностью и воздухом составляет 1 К. Единица измерения — $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Потери тепла через ограждения помещения

Трансмиссионный поток теплоты через ограждающую конструкцию (передающаяся тепловая нагрузка) определяется по формуле

$$\dot{Q}_T = UA(t_i - t_e) = \frac{A(t_i - t_e)}{R}, \quad (2.4)$$

где U — коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; A — площадь поверхности элемента здания, м^2 ; $R = 1/U$ — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; t_i — температура воздуха внутри помещения, °С; t_e — температура наружного воздуха, °С.

Коэффициент теплопередачи (U) для элемента здания, представляющего собой многослойную конструкцию, вычисляется по следующему соотношению:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} \sum_i^n \frac{nh_i}{\lambda_i}, \quad \text{или} \quad R_U = R_i + R_e \sum_i^n R_{\lambda_i}, \quad (2.5)$$

где α_i — коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения; α_e — коэффициент теплообмена на внешней поверхности ограждения; n — количество слоев в многослойной ограждающей конструкции; h_i — толщина i -го слоя ограждающей конструкции; λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя ограждающей конструкции; R_U — сопротивление теплопередаче $1/U$; R_{λ_i} — коэффициент термического сопротивления i -го слоя ограждающей конструкции.

Принятые на сегодняшний день в России стандарты не регламентируют значения коэффициента теплопередачи (U) для различных элементов зданий. Вместо этого для каждого слоя элемента должен быть определен коэффициент термиче-

ского сопротивления R_{λ} , зависящий от коэффициента теплопроводности этого слоя. На рис. 2.11 приведен пример, взятый из действующего СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 взамен СНиП II-3–79), регламентирующий значения коэффициентов теплопередачи стен, крыш и перекрытий для различных регионов России (для внутренней температуры 19 °С). Коэффициенты теплопроводности материалов можно найти в стандартных спецификациях к зданию. Тогда, как следует из только что приведенного соотношения, сумма значений коэффициентов термического сопротивления отдельных слоев и коэффициентов сопротивления теплообмену на внутренней и внешней поверхностях ограждения $R_i = 1/\alpha$ или $R_e = 1/\alpha_e$ дает величину общего коэффициента сопротивления теплопередаче элемента здания $R_U = 1/U$. Формула для расчета значения коэффициента теплопередачи (U), приводимого в стандарте, выглядит следующим образом: $U_n = U + \Delta U_A + \Delta U_S$, где ΔU_A и ΔU_S характеризуют соответственно величины, связанные с изменением комфортной температуры и влиянием рассеянного солнечного излучения.



Рис. 2.11. Нормированные значения коэффициента сопротивления теплопередаче для различных регионов России в соответствии с действующими СП

Тепловые потери через расчетные строительные конструкции (а именно наружные стены, пол, верхнее междуэтажное перекрытие или крышу) характеризуются коэффициентами теплопередачи U , Вт/($m^2 \cdot K$) (в действующих СП РФ используется обратная величина R_0 , ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт). Эта величина показывает, сколько тепла отдается строительной конструкцией наружу в единицу времени при изменении температуры на 1 °С (или 1 К).

Для расчета тепловых потерь через стену необходимо перемножить коэффициент U , площадь и разность температур. Например, типичный коттедж имеет снаружи площадь стен 100 м^2 . При суровых условиях в зимнее время в Средней Европе наружная температура составляет $-12 \text{ }^\circ\text{C}$, а требуемая внутренняя температура — $+21 \text{ }^\circ\text{C}$. При различных значениях коэффициентов теплопередачи получается следующая мощность тепловых потерь (тепловой поток) через наружные стены при «расчетных условиях» (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Расчетная мощность тепловых потерь через наружные стены⁸

U , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$), или R_0 , ($\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$)/Вт	Мощность тепловых потерь, Вт		Нормируемый годовой расход тепла на отопление, КВтч/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$)
	в Средней Европе	в России	
1,00 (1,00)	3300	5100	78
0,80 (1,25)	2640	4080	62
0,60 (1,67)	1980	3060	47
0,40 (2,5)	1320	2040	31
0,20 (5,00)	660	1020	16
0,15 (6,67)	495	765	12
0,10 (10,00)	330	510	8

Примечание

При адаптации этих данных к суровым климатическим условиям России нужно учитывать, что наружные температуры опускаются ниже (т. е. перепад температур будет выше), а отопительный период — продолжительнее.

Тепловые потери — ключевая составляющая энергетического баланса здания. Любые тепловые потери необходимо компенсировать соответствующими тепловыми поступлениями. В противном случае произойдет падение температуры в доме.

Материалы с высокими теплоизоляционными характеристиками

С помощью компактной типовой системы отопления для пассивного дома можно выработать около 1000 Вт мощности (это мощность обычного фена для сушки волос). Так как большая часть этой мощности пойдет на компенсацию тепловых потерь от наружных стен, то, конечно же, коэффициент теплопередачи стены U должен быть очень низким (либо должно быть очень высокое значение сопротивления теплопередаче R_0).

Что это означает для теплоизоляционной оболочки здания? В первую очередь становится ясно, что достижение таких низких величин U (или высоких R_0) возможно только благодаря материалам с высокими теплоизоляционными харак-

⁸ По данным Института пассивного дома (см. <http://www.passiv-rus.ru/?page=87>).

теристиками. В табл. 2.4 приведена информация о том, какой толщины должны быть однослойные наружные конструкции, чтобы достичь стандартных характеристик ограждающих конструкций дома с величиной $U \leq 0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (или $R_0 \geq 7,7 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$).

Таблица 2.4

Данные о толщине однослойных наружных конструкций, позволяющих достичь стандартных характеристик ограждающих конструкций пассивного дома⁹

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Требуемая толщина (в метрах) для достижения $U = 0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ или $R_0 = 7,7 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$
Стандартный бетон	2,1	15,80
Полнотельный кирпич	0,800	6,02
Пустотельный кирпич с вертикальными пустотами	0,400	3,01
Древесина хвойных пород	0,13	0,98
Пористый кирпич, ячеистый бетон	0,11	0,83
Тюки из соломы	0,055	0,41
Эффективный утеплитель	0,04	0,30
Высокоэффективный утеплитель	0,025	0,19
Нанопористый суперутеплитель с нормальным давлением	0,015	0,11
Вакуумная теплоизоляция (кремнезем)	0,008	0,06
Вакуумная теплоизоляция (глубокий вакуум)	0,002	0,015

Данные табл. 2.4 наглядно свидетельствуют, что разумные границы по толщине наружной оболочки здания возможны только в том случае, если достигается существенный теплоизоляционный эффект с использованием утеплителей с низкими значениями коэффициентов теплопроводности. Для этого подходят все материалы, расположенные «ниже жирной черты» в табл. 2.4. Конечно же, комбинация с другими материалами не только возможна, но и во многих случаях необходима. Пример тому — утепленная снаружи бетонная стена или монолитная стена из пенобетона с теплоизоляционными плитами из силиката кальция. Конструкция наружной оболочки будет тем тоньше, чем ниже коэффициент теплопроводности используе-

⁹ По данным Института пассивного дома (<http://www.passiv-rus.ru/?page=87>).

мой теплоизоляции. Так, для пассивного дома (в условиях Германии) при использовании в качестве наружных стен блоков из прессованной соломы необходимая толщина составит около 50 см или более. При применении более эффективных утеплителей (минеральная вата, пенополистирол, целлюлозная теплоизоляция) толщина теплоизоляции составит около 30 см. При использовании высокоэффективных утеплителей, таких как пенополиуретан, толщина теплоизоляции снизится до 20 см. Есть и еще более эффективные виды теплоизоляции. Так, например, в Германии в настоящее время допущена к применению вакуумная теплоизоляция. С использованием вакуумных изоляционных панелей (ВИП) можно действительно получить очень эффективную и одновременно тонкую наружную оболочку. Не менее успешно зарекомендовал себя и другой вариант — «полупрозрачная теплоизоляционная оболочка». При этом суммарная солнечная радиация поглощается не на поверхности оболочки, а проходит в глубину теплоизолированной конструкции, чтобы снизить разность температур и достичь низкого значения коэффициента теплопередачи U , эквивалентного требуемым значениям.

Опыт строительства первых пассивных домов показал, что увеличение толщины эффективной теплоизоляции можно реализовать в большинстве случаев:

- Во многих случаях при строительстве предусмотрена площадь под теплоизоляцию. Если площади не хватает или это требует больших финансовых затрат, то можно применить высокоэффективные теплоизоляционные материалы.
- Увеличение толщины теплоизоляции со строительной точки зрения не представляет проблем. При правильном применении затраты на монтаж теплоизоляции не выше, чем при меньших толщинах. Остаются только повышенные затраты на закупку большего количества теплоизоляционного материала, который все же сравнительно недорог. Как на практике выглядят конструкции оболочки пассивного дома с использованием различных материалов, будет показано далее на примерах.
- Все применяемые сегодня стандартные элементы ограждающих конструкций зданий адаптированы и для пассивных домов. Существуют разнообразные варианты: кирпичные стены, двухслойные или со скрепленной теплоизоляцией (система теплоизоляции с тонким штукатурным слоем) либо с навесным фасадом (фасадная система с вентилируемым зазором); сборные строительные элементы из легких бетонов; сборные железобетонные элементы; деревянные конструкции (классические или с использованием легких балок); несъемная опалубка, металлические конструкции; полупрозрачные элементы.
- Результаты измерений в построенных пассивных домах показали, что увеличение толщины теплоизоляции оправдывает ожидания. Фактические значения тепловых потерь совпадают с расчетными. Строительные элементы с увеличенным слоем теплоизоляции, применяемые в пассивных домах, имеют значительное преимущество перед традиционными.

- Благодаря низким тепловым потерям автоматически повышаются значения температур на внутренних поверхностях наружных стен зимой — даже без применения отопительных приборов. Благодаря этому снижается интенсивность конвективного теплообмена в помещении, что является хорошей предпосылкой для создания комфортного микроклимата. Высокие значения температур на внутренних поверхностях наружных стен приводят, помимо прочего, к снижению уровня влажности на поверхностях строительных конструкций, что практически исключает их повреждение вследствие увлажнения.
- В летнее время температуры на внутренних поверхностях наружных стен примерно совпадают с температурой воздуха в помещениях. Иначе говоря, они ниже, чем при плохо теплоизолированных строительных конструкциях. При плохой теплоизоляции в жаркое время года тепловая энергия интенсивно переносится внутрь помещения, что приводит к летнему перегреву. Хорошо утепленные конструкции имеют значительное уменьшение амплитуды колебания температуры уже при незначительном весе (как например двойной гипсокартон в качестве несущей части). Уже благодаря этому достигается оптимальный температурный режим конструкции в летний период. Очень важна продолжительная постоянная времени здания (инерционность здания). Она создается благодаря усиленной теплоизоляции и позволяет эффективно использовать открытые (без отделки материалами с низкими значениями теплоусвоения) внутренние поверхности массивных конструкций здания (стены, полы, потолки). Вследствие этого пассивный дом можно достаточно эффективно охладить благодаря ночному проветриванию и удерживать прохладу в течение дня. «Летние условия» должны быть точно так же запроектированы, как и зимние. Для этого используется специальная расчетная программа «Пакет проектирования пассивного дома» (PHPP)¹⁰.
- Строительные конструкции с усиленной теплоизоляцией лучше сглаживают влияние «тепловых мостиков» (по наружным размерам), чем стандартно утепленные. Это особенно важно при капитальном ремонте и реконструкции старых зданий. Так как несущие конструкции и внутренний несущий слой ограждающих конструкций расположены за толстой теплоизоляцией, то они (за исключением стыковых и прочих соединений) находятся полностью в «теплой» области (т. е. их температуры практически равны внутренним температурам в помещениях).

¹⁰ См. <http://www.passiv-rus.ru/?page=106>. Демонстрационную версию пакета PHPP 2007 (к сожалению, только на английском языке) с руководством пользователя можно скачать отсюда: <http://www.passive-on.org/en/cd.php>

Тепловые мостики

В первую очередь разберемся с тем, что представляют собой так называемые «тепловые мостики» (англ. thermal bridges, нем. Wärmebrücken), называемые также «мостиками холода». Это такие участки в ограждающих конструкциях зданий (локальные, обширные), в которых вследствие геометрических условий, а также в результате совместного применения различных по своим параметрам материалов создаются условия для распространения тепла в двух или трех измерениях. Обобщенно говоря, такие участки являются «слабыми звеньями» в теплоизоляции, будучи местом утечки большого количества тепла через участок небольшой площади.

На рис. 2.12 представлены наиболее типичные «тепловые мостики», возникающие по следующим причинам:

- Отдельные участки ограждающих конструкций или их частей имеют слои, неоднородные по материалу. В качестве примера данной проблемы можно привести ситуацию, когда в стену встроены колонна или железобетонное ребро жесткости (рис. 2.12, а) или же ситуации, когда теплоизоляционный слой имеет неодинаковую толщину).
- Исследуемая конструкция или конструктивный элемент ограничиваются непараллельными плоскостями. Пример тому — углы помещения, пересечения стен, стыки стен с перекрытиями (рис. 3.12, б).
- На одном и том же участке ограждающих конструкций совпадают уменьшенное поперечное сечение, изменение профиля и однородности. В качестве примера можно привести стыки стен из разных материалов или места стыка окон и стен (рис. 2.12, в).

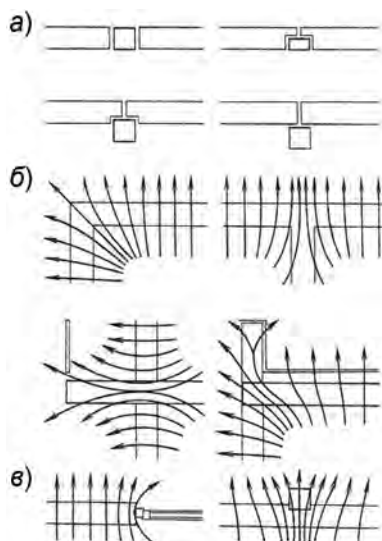


Рис. 2.12. Типичные «тепловые мостики», изменяющиеся в зависимости от материала и формы конструкции

Вывод

«Тепловые мостики» возникают там, где стыкуются друг с другом строительные материалы с различной теплопроводностью, там, где неизолированные детали входят в изолированные площади, или там, где стеновые зоны расположены структурно и, следовательно, термически слабее.

Необходимость устранения «тепловых мостиков» следует принимать во внимание не только из-за потерь тепла. На практике их наличие приводит к следующим негативным последствиям:

- Температура внутренних поверхностей помещений в этих местах ниже температуры сплошных ограждающих конструкций, а понижение температур внутренних поверхностей из-за наличия холодных стыков отрицательно влияет на комфорт внутри помещения.
- Ухудшается состояние конструкции, снижается ее термосопротивление; более того, возникает даже опасность здоровью жильцов. Если «тепловой мостик» находится на холодной поверхности, то в этом месте происходит конденсация влаги в форме росы. В результате появляются такие повреждения, как образование трещин, рост плесени или пропитывание стен влагой в углах.
- Совместное действие нескольких неблагоприятных факторов приводит к более выраженным негативным последствиям. Например, углы здания являются не только геометрическими «тепловыми мостиками», но зачастую оказываются слабыми местами и с конструктивной, и теплотехнической точек зрения. В сочетании с недостаточной вентиляцией это приводит к повреждениям, вызванным сыростью.

«Тепловые мостики», чаще всего образующиеся в жилых зданиях, показаны на рис. 2.13.

Чтобы избежать появления «тепловых мостиков», необходимо принимать следующие меры:

- теплоизоляция должна устанавливаться так плотно, чтобы избежать утечек, причем особое внимание следует уделять утеплению стыков, где конструктивные элементы соединяются между собой или проходят друг через друга;
- взаимопроникающие и выступающие конструктивные элементы (например, балконные плиты) в любом случае должны быть покрыты изолирующим материалом со всех сторон;
- несущие конструкции, подвергающиеся повышенной тепловой нагрузке (изготовленные из стали, бетона или древесины), должны быть снабжены дополнительной теплоизоляцией.

Чтобы добиться соответствия строящегося здания стандартам «пассивного дома», его изначально следует проектировать согласно принципу конструирования зданий без «тепловых мостиков». Это обеспечивает следующие преимущества:



Рис. 2.13. «Тепловые мостики», наиболее часто встречающиеся в жилых домах. В этих местах требуется предпринимать особые меры предосторожности. Им уделяют особое внимание при проектировании

- позволяет экономить энергию (потери тепла можно уменьшить не менее чем на 10 %);
- предотвращает ряд структурных проблем, таких как поверхностная конденсация влаги, образование трещин и связанное с ними нарушение эстетического вида здания;
- позволяет избежать роста плесени;
- повышает комфорт.

Конструирование зданий без «тепловых мостиков»

Считается, что оболочка здания не имеет «тепловых мостиков», если тепловые потери через наружные ограждения здания (с учетом всех имеющихся «тепловых мостиков») не превышают значения тепловых потерь, которые рассчитываются с учетом наружной площади ограждающих конструкций и коэффициентов теплопередачи этих конструкций.

Снизить тепловые потери, возникающие из-за «тепловых мостиков», поможет соблюдение следующих четырех простых правил:

- правило избегания «тепловых мостиков» — не следует делать отверстий в теплоизоляционной оболочке здания;
- правило прохождения теплоизоляции — если без отверстий в теплоизоляционном слое обойтись нельзя, то в местах нарушения целостности теплоизоляционной оболочки следует максимально повысить сопротивление теплопередаче (например, за счет применения таких материалов, как пенобетон, древесина и др.);
- правило для стыков — утеплитель следует располагать так, чтобы в стыках не было полых пространств, т. е. нужно стремиться к полной теплоизоляции стыка;
- правило геометрии — при проектировании нужно по возможности выбирать грани с тупыми углами.

Обычные «тепловые мостики» в расчетах строительных конструкций должны быть учтены уже в расчетных коэффициентах теплопередачи.

В общем виде принцип конструирования «без тепловых мостиков» формулируется следующим образом:

$$\Delta U_{WB} \leq 0, \quad (2.6)$$

где ΔU_{WB} — это коэффициент теплопередачи, учитывающий дополнительные тепловые потери от «тепловых мостиков», вычисленные по методике EnEV 2009.

Упрощенный критерий конструирования «без тепловых мостиков»

Подробное рассмотрение принципа «конструирования без тепловых мостиков» доказывает, что для получения точных результатов все элементы конструкции должны рассчитываться с помощью двухмерных или трехмерных математических моделей. Однако практика показала, что если линейные коэффициенты теплопередачи имеют значения, как в формуле

$$\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \quad (2.7)$$

то здания со стандартной геометрией практически всегда соответствуют критериям «конструирования без тепловых мостиков». Конечно, такие значения могут приводить к положительным приращениям тепловых потерь, но при этом потери действительно можно считать пренебрежимо малыми. Поэтому приведенное выражение и было принято за упрощенный критерий конструирования «без тепловых мостиков».

Упрощенные критерии позволяют значительно ускорить проектирование зданий. Для некоторых видов соединений конструкций в самом начале нужно подтвердить факт их соответствия критерию (2.7). Это можно, например, осуществить

расчетами всех важных узлов оболочки здания. Многие производители, предлагающие системные решения, уже следуют этим расчетам и проверили соблюдение критерия для изготавливаемых ими элементов. Если проектировщик использует эти решения, то при проектировании пассивного дома ему уже не нужно будет самому учитывать влияние «тепловых мостиков». Таким образом, он сэкономит много времени на расчеты.

На рис. 2.14 показан пример соединения каменной стены (из силикатных блоков) и утепленной фундаментной плиты с помощью термовкладышей (блоков из ячеистого бетона) таким образом, чтобы ликвидировать «тепловой мостик». Для этого узла были рассчитаны значения линейных коэффициентов теплопередачи Ψ в зависимости от используемого материала термического вкладыша (согласно методике конструирования «без тепловых мостиков»).

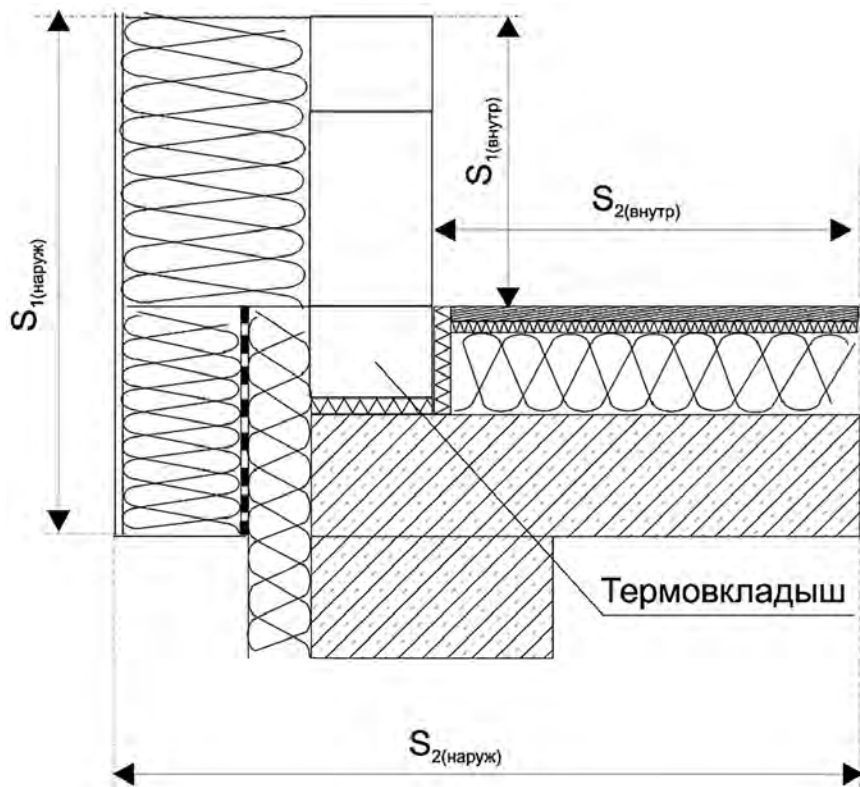


Рис. 2.14. Пример соединения каменной стены с утепленной фундаментной плитой без «теплого мостика»

Существует зависимость линейных коэффициентов теплопередачи Ψ от коэффициента теплопроводности λ термовкладыша. Если λ меньше, чем $0,25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, то $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и конструкция может рассматриваться как не имеющая «тепловых мостиков» (на рис. 2.15 этот критерий показан жирной горизонтальной

линией). Кроме того, известно, что с помощью «нормальных» блоков, коэффициент теплопроводности λ для которых превышает значение $0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, за счет возникновения линейных «тепловых мостиков» можно получить существенные тепловые потери. Этот пример наглядно демонстрирует, что принцип «конструирования без тепловых мостиков» может быть реализован за счет очень незначительных, совсем простых изменений конструктивных деталей.

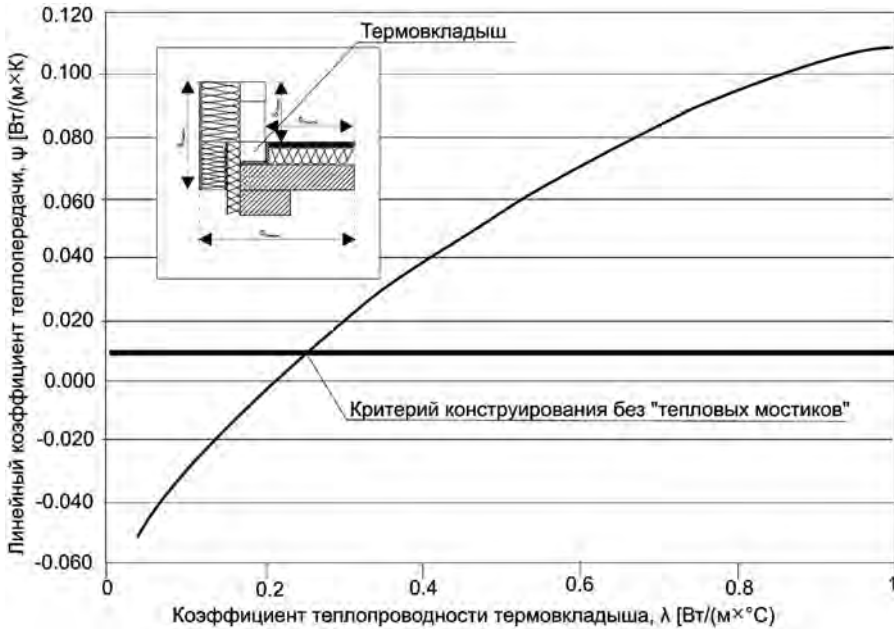


Рис. 2.15. Существует зависимость линейных коэффициентов теплопередачи Ψ от коэффициента теплопроводности λ термовкладыша

Примеры решения проблемы «тепловых мостиков»

Практика показала, что для проблемы «тепловых мостиков» всегда можно найти отличные практические решения.

Тепловые мостики между подвальными перекрытиями или грунтом и внешними стенами

Рассмотрим пример возникновения «теплого мостика» между однооболочной наружной стеной и подвальным перекрытием или плитой основания, изолированной сверху и снизу (рис. 2.16).

Тепловая защита будет недостаточной, если в месте стыка наружной стены с подвальным перекрытием и подвальной стеной или с плитой основания и фундаментной стеной коэффициент теплопроводности материалов λ превышает значение $0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Однако проблема может быть решена, а «тепловой мостик» ликвидирован, если в местах стыка установить термовкладыш, для которого $\lambda < 0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, как показано на рис. 2.17 (см. также рис. 2.14).

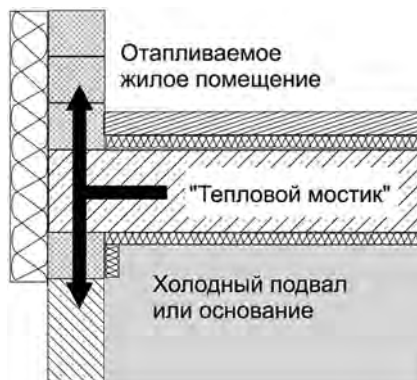


Рис. 2.16. «Тепловой мостик» в месте стыка наружной стены с подвальным перекрытием и подвальной стеной или с плитой основания и фундаментной стеной

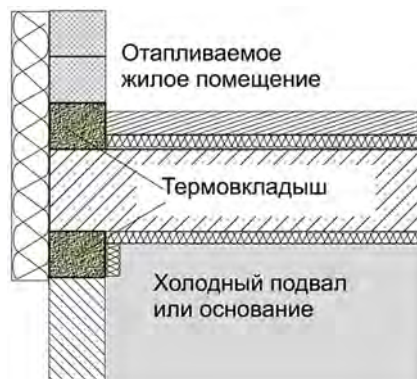


Рис. 2.17. Ликвидация «теплого мостика» в месте стыка наружной стены с подвальным перекрытием и подвальной стеной или с плитой основания и фундаментной стеной за счет установки термовкладыша

Аналогичный пример «теплого мостика», возникающего между полкой (двухслойной, изначально имеющей воздушную прослойку) наружной стеной (стеной и подвальным перекрытием или плитой основания, изолированной сверху и снизу), показан на рис. 2.18.

Здесь, как и в предыдущем случае, «тепловой мостик» ликвидируется за счет того, что в местах стыка устанавливается термовкладыш, для которого $\lambda < 0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ (рис. 2.19).

На рис. 2.20 и 2.21 показаны конструктивные решения по ликвидации «тепловых мостиков», возникающих в местах стыка внутренних стен с подвальными перекрытиями и фундаментными стенами.

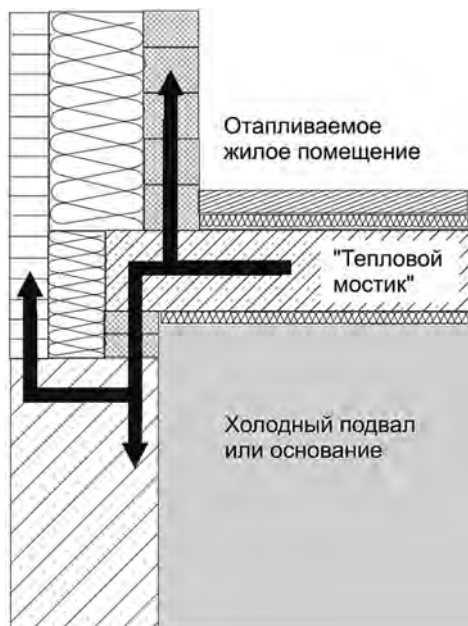


Рис. 2.18. «Тепловой мостик» в месте стыка половой наружной стены с стены с подвальным перекрытием и подвальной стеной (или с плитой основания и фундаментной стеной)

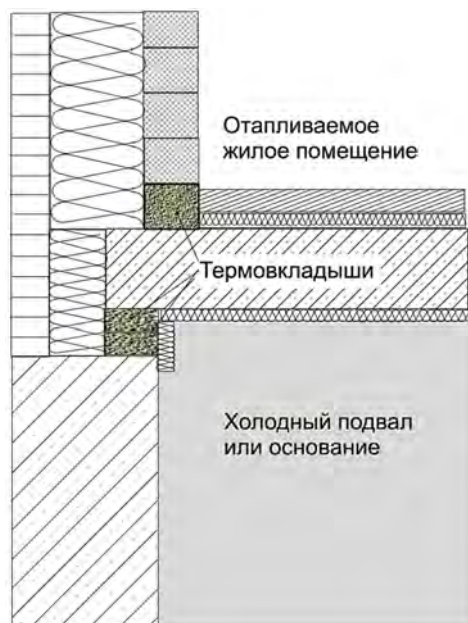


Рис. 2.19. Ликвидация «теплого мостика» в месте стыка половой наружной стены с подвальным перекрытием и подвальной стеной или с плитой основания и фундаментной стеной за счет установки термовкладыша

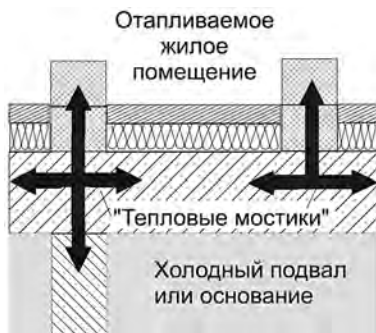


Рис. 2.20. «Тепловые мостики» в местах стыка внутренних стен с плитой основания

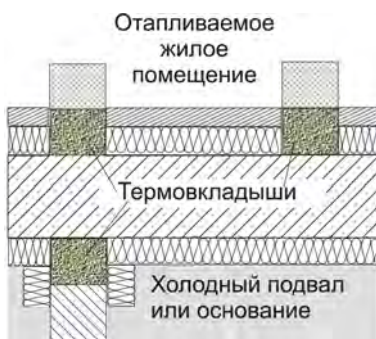


Рис. 2.21. «Тепловые мостики» в месте стыка внутренних стен с фундаментными стенами и подвальным перекрытием

«Тепловые мостики» между лестничными пролетами и теплоизолированными стенами или плитой основания

Еще один тип «тепловых мостиков» — это «тепловые мостики» между «теплым» лестничным пролетом (температура поверхности лестницы и температура воздуха в помещении лестничной клетки должна составлять не менее 20 °С, со стороны помещения установлен слой теплоизоляции) и «холодным подвальным перекрытием или плитой основания (температура в подвальном помещении и температура нетеплоизолированной поверхности составляет 7 °С). Этот вид «теплого мостика» показан на рис. 2.22.

Как и в предыдущем случае, устранения «теплого мостика» можно добиться за счет установки термовкладыша между несущей поверхностью «теплого» лестничного пролета и «холодной» плитой основания. В качестве термовкладыша используется фундаментный камень с низкой теплопроводностью. Далее, слой теплоизоляции между лестничным пролетом и фундаментной стеной должен быть непрерывным с тем, чтобы обеспечить полное отделение лестничного пролета от подвальной стены, имеющей температуру $t = 7\text{ °C}$ (рис. 2.23).

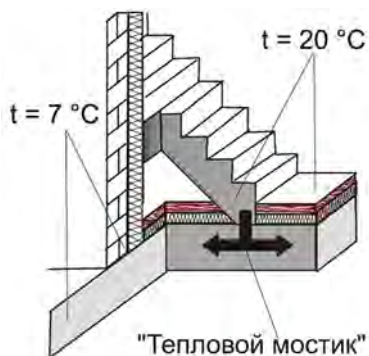


Рис. 2.22. Типичные «тепловые мостики» между «теплым» лестничным пролетом и «холодной» плитой основания, а также между лестничным пролетом и подвальной стеной

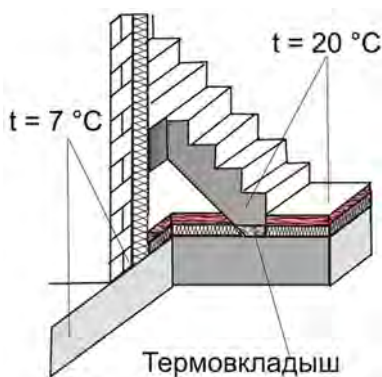


Рис. 2.23. Ликвидация «теплого мостика» между лестничным пролетом и плитой основания

Термовкладыши

Установка термовкладышей — весьма эффективное решение проблемы «тепловых мостиков». В этой области очень хорошо себя зарекомендовали термовкладыши Schöck Isokorb®, которые обеспечивают термическое разделение конструкций и при этом являются частью статической конструкции, вследствие чего они представляют собой несущие теплоизолирующие элементы¹¹

«Тепловые мостики» на вертикальных поверхностях пересечения теплых и холодных стен

«Тепловые мостики» «возникают и в местах стыка внешней стены с чердачным перекрытием, отделяющим отапливаемое жилое помещение от неотапливаемого чердака (рис. 2.24), — при том условии, что теплопроводность материала наружной стены $\lambda > 0,12$ Вт/(м·К).

¹¹ См. <http://www.schoeck.ru/ru/67/--2>

Устранить этот «тепловой мостик» поможет либо установка термовкладышей в наружной стене с высокой теплопроводностью на уровне стыка с чердачным перекрытием (это могут быть блоки из материала с низкой теплопроводностью $\lambda < 0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ — например, пенобетона, пеностекла, базальтовой ваты или пурена¹²). Еще один вариант — установка вертикальной внутренней теплоизоляции наружной стены неотапливаемого чердака на высоту не менее 60 см (рис. 2.25).

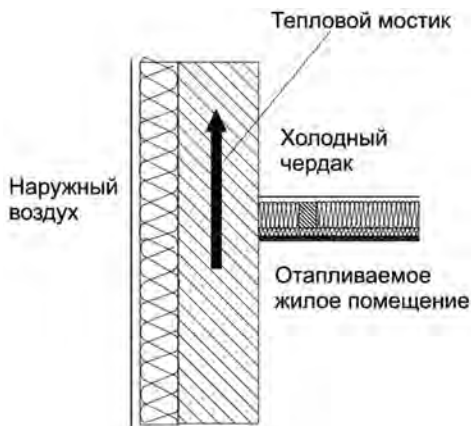


Рис. 2.24. «Тепловой мостик» в месте стыка внешней стены и чердачного перекрытия



Рис. 2.25. Устранение «теплого мостика» в месте стыка наружной стены с чердачным перекрытием за счет установки вертикальной внутренней теплоизоляции в чердачном помещении

¹² Пурен (Puren) — это высококачественный теплоизоляционный материал немецкого производства на основе вспененного полиуретана с интегрированной обрешеткой. Структура пурена представляет собой замкнутые ячейки. Этот материал универсален при утеплении кровель, фасадов, фундаментов. См. http://www.p-action.ru/catalog/lagging/polyurethane_foam/puren

Такое решение справедливо в отношении не только наружных стен, но и внутренних (рис. 2.26 и 2.27). Ликвидация этого «теплового мостика» достигается аналогичными методами.

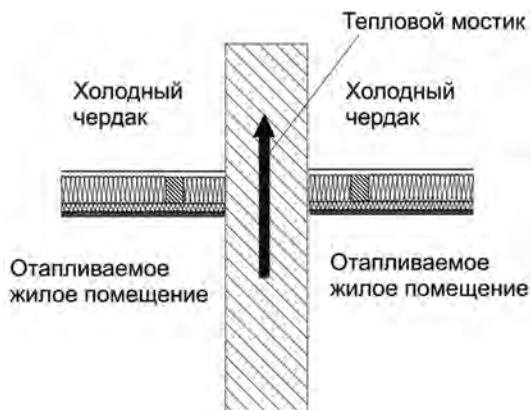


Рис. 2.26. «Тепловой мостик» в месте стыка внутренней стены с чердачным перекрытием возникает, если теплопроводность материала вертикальной стены $\lambda > 0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$



Рис. 2.27. Устранение «теплового мостика» в месте стыка внутренней стены с чердачным перекрытием за счет установки вертикальной внутренней теплоизоляции в чердачном помещении

«Тепловые мостики» на пересечениях «теплых» и «холодных» стен

Примеры «тепловых мостиков», возникающих на пересечениях «теплых» и «холодных» стен, а также методы борьбы с ними показаны на рис. 2.28–2.30.

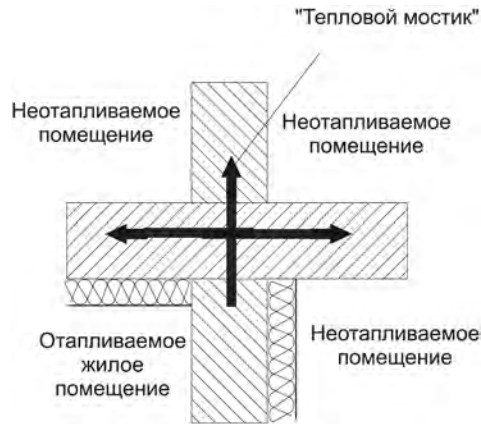


Рис. 2.28. «Тепловой мостик» на пересечении «теплых» и «холодных» стен

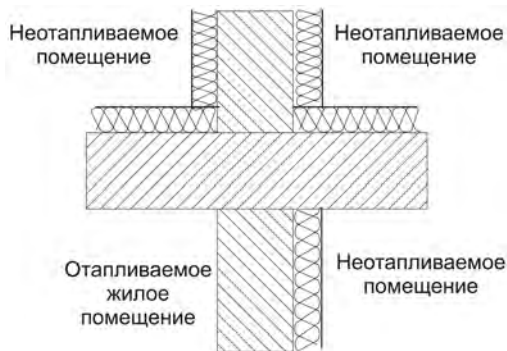


Рис. 2.29. Удовлетворительное решение проблемы «теплого мостика»

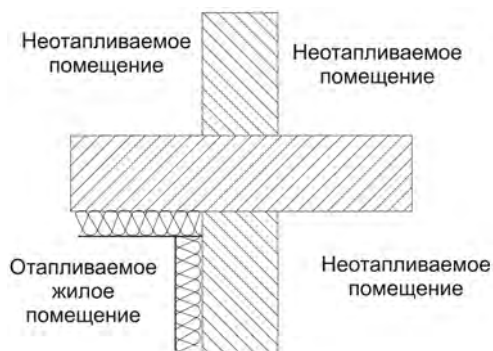


Рис. 2.30. Отличное решение проблемы «теплого мостика»

Сама проблема иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 2.28. Стены теплоизолированы частично с теплой стороны и частично — с холодной. Однако на стыках возникают «тепловые мостики». На рис. 2.29 показано удовлетворительное

решение проблемы за счет установки теплоизоляции на всех стенах с «холодной стороны». Дополнительно установлена теплоизоляция на уровень не менее 60 см на все стыки, контактирующие с «холодной стороной». Отличным можно признать решение, когда слои теплоизоляции пересекаются без разрывов (рис. 2.30).

«Тепловые мостики» на стыках «теплых» и «холодных» стен

Аналогичным образом решается и проблема «тепловых мостиков» на стыках «теплых» и «холодных» стен. На рис. 2.31 представлено удовлетворительное решение проблемы, когда обе стены отапливаемого помещения теплоизолированы, но с разных сторон. Для ликвидации «теплового мостика» слой теплоизоляции с холодной стороны стен продлен на 60 см. В идеальном же случае (рис. 2.32) слой теплоизоляции должен быть непрерывным.

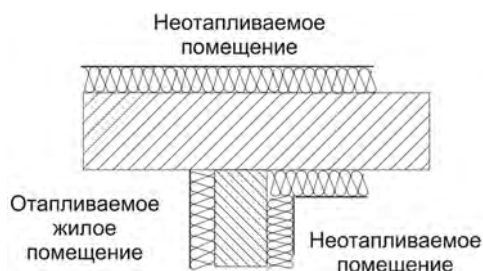


Рис. 2.31. Удовлетворительное решение

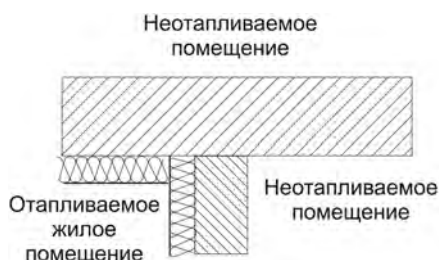


Рис. 2.32. Отличное решение

Решение проблемы «тепловых мостиков» для балконов и выступающих элементов конструкции

Еще один распространенный источник возникновения «тепловых мостиков» — это различные выступающие строительные конструкции, такие как балконы, козырьки, ступеньки перед входом и т. п. Для их ликвидации тоже предусмотрены типовые решения. Вариант, представленный на рис. 2.33, заключается в точечном креплении балкона или другого выступающего элемента строительной конструкции стальными скобами и обеспечении дополнительной поддержки балкона отдельными колоннами, расположенными перед домом. Если поперечное сечение

стальных крепежных элементов невелико, то количество «тепловых мостиков» будет сведено к минимуму. Но по-настоящему свободное от «тепловых мостиков» решение показано на рис. 2.34. На этой схеме конструкция, поддерживающая балкон или другой выступающий элемент, полностью изолирована от здания.

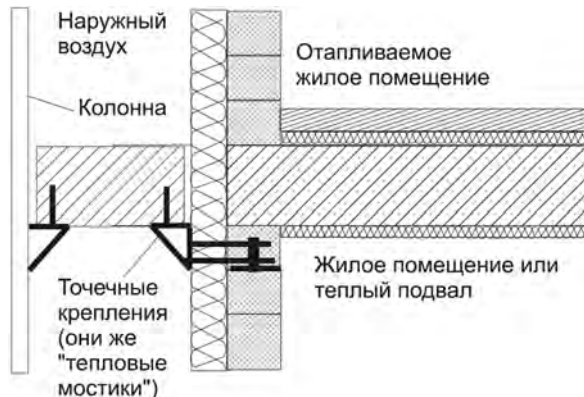


Рис. 2.33. Удовлетворительный вариант решения проблемы «тепловых мостиков» для балкона

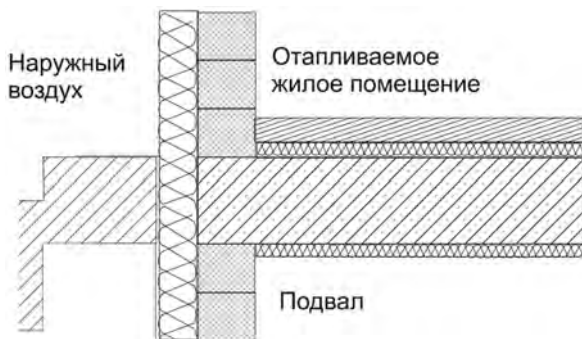


Рис. 2.34. Вариант решения проблемы, полностью ликвидирующий «тепловые мостики»

Герметичность здания

Помимо устранения «тепловых мостиков», еще одним важным аспектом теплоизоляции здания является обеспечение его герметичности. Хорошо утепленные стены — лишь часть того, что требуется для по-настоящему энергетически эффективного дома. Существенная доля тепловых потерь в домах приходится на всевозможные щели и дыры. Небольшая щель в перекрытии, плохо заделанные стыки между стенами, некачественная герметизация вентиляционных шахт или дымоходов могут служить скрытой причиной постоянного выхолаживания домов даже с очень «теплыми» стенами (рис. 2.35).

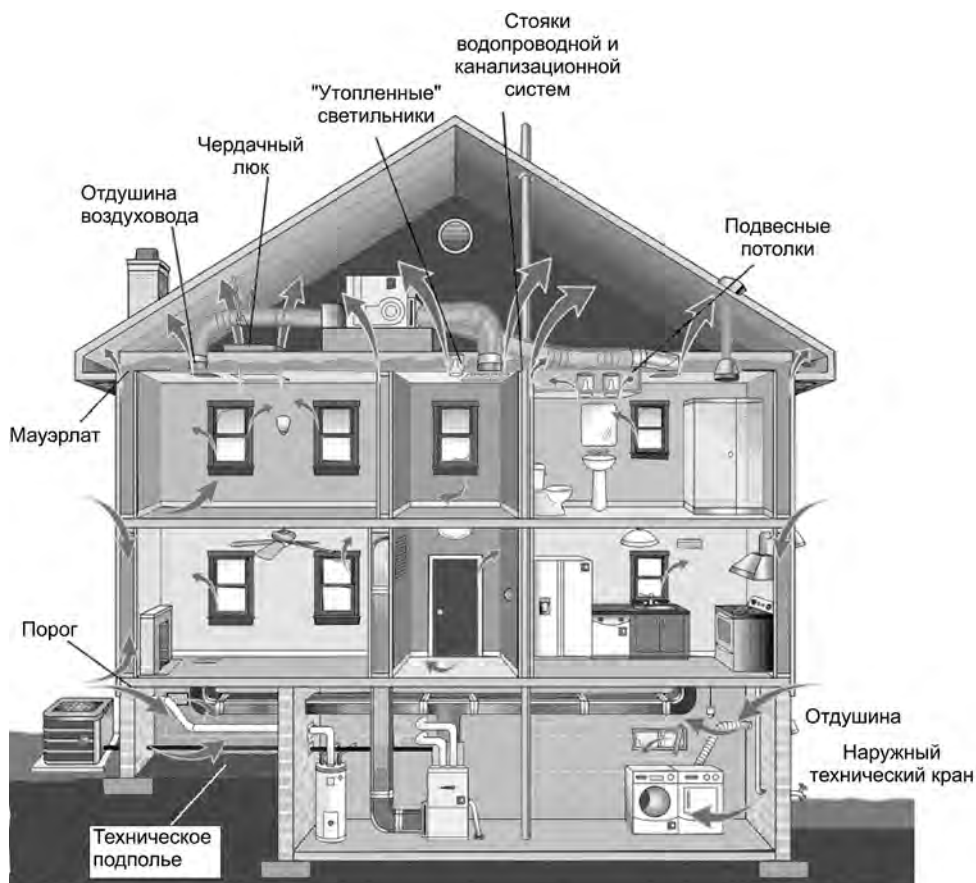


Рис. 2.35. Воздушные потоки и тепловые потери в домах за счет негерметичностей

Проблема обледенения крыш

Обратите внимание на то, что подсос холодного воздуха происходит через щели и негерметичности в подвалах и нижних этажах здания (стрелки, направленные внутрь дома), а вот теплый воздух «улетучивается» через крышу (стрелки, направленные наружу). Это приводит к возникновению проблемы обледенения крыш, к которой мы обязательно вернемся чуть далее.

Проблемы обеспечения герметичности зданий

Часто высказывается мнение о том, что стены и другие ограждающие конструкции здания должны «дышать». При этом многие исходят из ложного представления о том, что «дышать» означает «пропускать воздух», и видят в этом противоречие с необходимостью герметизации. В реальности же ситуация такова: наружные элементы здания действительно должны быть паропроницаемыми,

чтобы избежать повреждения здания сыростью и обеспечить комфортный микроклимат. Когда же речь идет о герметизации, то имеется в виду необходимость сделать оболочку здания непроницаемой для воздуха, а не для пара. Например, чтобы выполнить требование герметизации наружной стены, ее покрывают минерализованной штукатуркой. Проветривание помещений по желанию жильцов должно осуществляться не за счет воздухопроницаемости наружных элементов оболочки дома, а проветриванием через окна или (в домах с низким энергопотреблением) посредством механической вентиляционной установки. Негерметичности (в местах установки окон и дверей, как и в местах стыков и переходов между конструктивными элементами здания), которые часто встречаются в старых домах, на самом деле приводят не к проветриванию, а к тому, что микроклимат в доме будет зависеть от погоды на улице. При сильном ветре и существенных перепадах температур на улице и в помещении скорость воздухообмена повышается (настолько, что это становится заметно и достаточно неприятно), в то время как в безветренные дни и при незначительных перепадах температур на улице и в помещении ощущается недостаток свежего воздуха даже при открытых окнах. Элементы конструкции здания, где наиболее часто встречаются негерметичности, показаны на рис. 2.36.

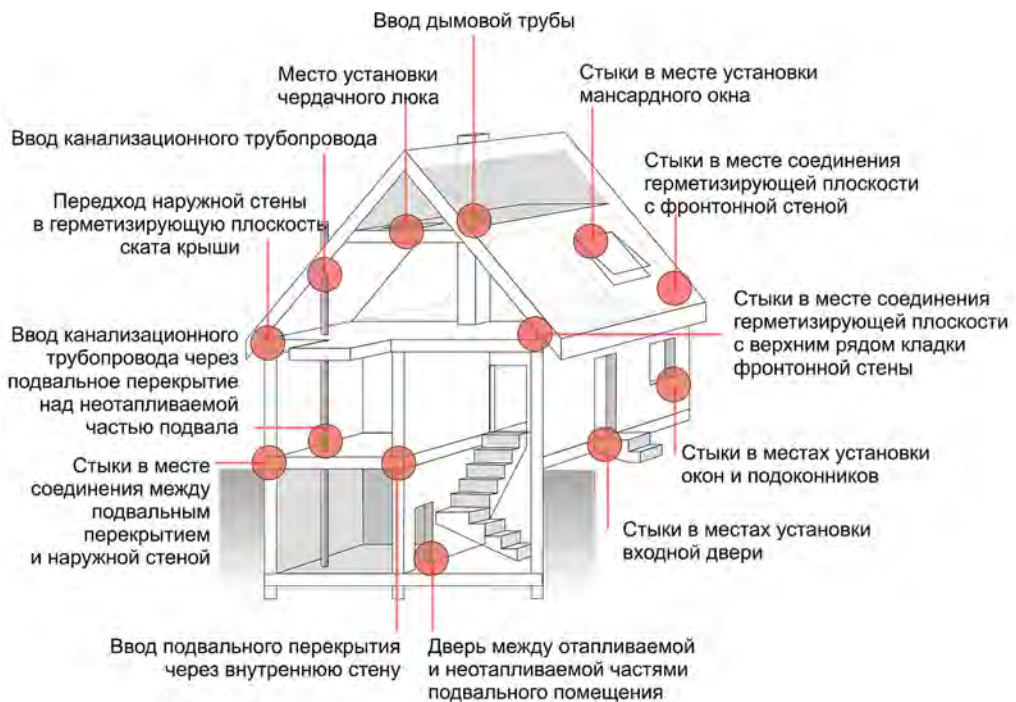


Рис. 2.36. Негерметичности чаще всего встречаются на стыках и переходах между конструктивными элементами здания, особенно в тех случаях, когда не предпринимается никаких специальных мер по их уплотнению (штукатурные работы, проклеивание, изолирующие ленты и т. д.)

Поиск утечек воздуха

Основные рекомендации по поискам негерметичностей таковы. Начните с осмотра всех элементов конструкции, где контактируют между собой разные строительные материалы: например, кирпичная кладка и деревянная обшивка, стыки между фундаментом и стенами и т. д. Затем проинспектируйте следующие области с тем, чтобы выявить наличие щелей, трещин и зазоров:

- места установки дверей и окон;
- проколы для домовых подключений (к сетям центрального электро- и газоснабжения, а также к телефонным сетям и сетям кабельного телевидения);
- водовыпускные краны;
- вентиляционные отверстия и кондиционеры;
- кирпичную кладку, сайдинг, штукатурку, фундамент.

Наиболее сильные утечки можно почувствовать руками или обнаружить по отклонению пламени свечи.

Однако наиболее надежным методом поиска негерметичностей является так называемый *тест давлением* (нем. Drucktest, англ. Blower-Door-Test), также известный как *тест с помощью «ветровой двери»*, схема проведения которого показана на рис. 2.37.

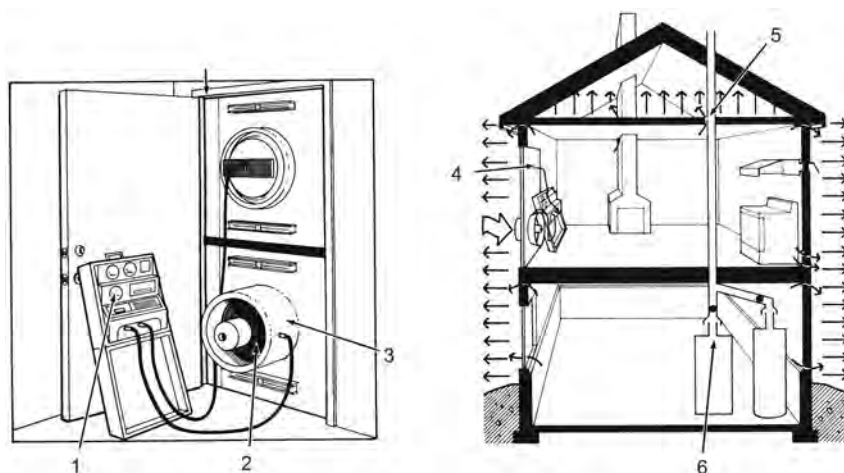


Рис. 2.37. Схема проведения теста давлением

Тест с помощью «ветровой двери» позволяет выявлять малейшие бреши в герметичности здания. Ветровая или вентиляторная дверь представляет собой специализированное диагностическое оборудование, предназначенное для измерения герметичности зданий. При проведении теста используется специальная герметичная дверь со встроенным в нее мощным вентилятором (3) с регулируемой скоростью вращения, которая устанавливается в проеме входной или балконной

двери тестируемого здания (4). Вентилятор снабжен зондом для измерения скорости воздушного потока (2) и подключен к пульту, снабженному приборами для измерения перепадов давления (1). При этом в здании закрываются все окна и двери, каминные и печные трубы, а также вентиляционные каналы. Все устройства и приборы, подключенные к подводным (5) и выводным трубопроводам (6), должны быть уплотнены. Путем нагнетания или откачки воздуха через вентилятор производится поиск и обнаружение неплотностей (щелей или неплотных примыканий), через которые происходит проникновение воздуха в помещение или отток воздуха из помещения. Обнаружение неплотностей и их визуализация могут осуществляться при помощи дыма (применяется для выявления дефектов фасада здания), газа-носителя и детектора, или же посредством ручного анемометра. Проверяют, не поддувает ли воздух в районе наиболее вероятных неплотностей (оконных и дверных проемов, электрических розеток и выключателей, обогревателей и т. д.). Это можно сделать, подставив руку. Кроме того, можно использовать специальную пудру или дымогенераторы. Высота перепада давлений устанавливается за счет регулировки скорости вращения вентилятора, и производятся замеры объемов закачиваемого воздуха.

При откачке воздуха в здании создается мини-вакуум (перепад давлений составляет 50 Па, что соответствует силе ветра в 5 баллов¹³, после чего замеряются объемный расход воздуха через вентилятор и время, за которое был достигнут такой перепад давления. При таком перепаде будут обнаружены все критические места утечки или подсоса воздуха. Применение электронных измерительных приборов (ручных термоанемометров) позволяет измерить скорость ветра в метрах в секунду (м/с) в местах утечки или подсоса. Возможен и другой (правда, более дорогой) метод, при котором дополнительно применяется термографическая камера, с помощью которой визуализируются потоки холодного воздуха в местах протечки. В дополнение к этому, использование термографии позволяет определить и конструктивные «тепловые мостики».

Герметизации подлежат все места утечки/подсоса, где замеренная скорость ветра составляет 2 м/с или более. Разумеется, соответствующие меры по герметизации очень важны и при в целом слишком высокой кратности воздухообмена.

До последнего времени тест с помощью ветровой двери в России практически не применялся. Однако 7 октября 2010 года на выставке «Свой дом» состоялся первый в России тест энергетической эффективности дома с использованием «ветровой двери»¹⁴. В день открытия этой выставки в режиме «живого шоу» данному испытанию был подвергнут демонстрационный дом от завода «Тамак»¹⁵, причем одновременно с этим велась съемка дома при помощи тепловизора. Двухэтажный

¹³ Сила ветра в баллах по шкале Бофорта, см. <http://tinyurl.com/4uuу6>

¹⁴ См. <http://tinyurl.com/4r2dјxv>

¹⁵ См. <http://tamak.ru/news/view/129.html>

коттедж под названием «Лагуна» (загородный коттедж для семьи из 4–5 человек, рассчитанный на круглогодичное проживание), успешно прошел испытание. Надо надеяться, что этот первый в России тест заложит основы новых традиций контроля качества в строительстве, поскольку подобные тесты широко используются в Европе и США и убедительно доказали свою эффективность. Рекомендации, которые даются производителям домов по итогам таких тестов, позволяют значительно повысить качество жилья.

Помимо теста вентиляторной двери, большинство программ сертификации зданий по «зеленым стандартам» требуют также проведения теста герметичности системы воздуховодов. Требования «зеленых стандартов» предписывают, чтобы общий объем утечек из системы воздуховодов составлял не более 6 кубических футов в минуту ($0,0238 \text{ м}^3/\text{мин}$) на каждые 100 квадратных футов (1 кв. фут $\approx 0,0929 \text{ м}^2$).

Широко применяются следующие виды тестов:

- Только с помощью вентиляторной двери — самый простой тест, при котором осуществляют два замера. Первый замер производится обычным образом, а второй — при всех отверстиях и вентиляционных решетках, заклеенных бумагой и изоляцией. Разница двух замеров дает приблизительные утечки системы воздуховодов.
- Тест с помощью вентиляторной двери и специальных диагностических заглушек (pressure pans), устанавливаемых на вентиляционные отверстия и снабженных датчиками давления (рис. 2.38). При этом вентиляторная дверь используется для откачивания воздуха из дома при выключенной системе кондиционирования; все вентиляционные отверстия в помещении поочередно закрываются диагностической заглушкой, и с них считываются показания манометра, который показывает давление воздуха, проникающего в вентиляционную систему. Обычно это значения от 1 Па до 45 Па (чем выше эти показания, тем ниже герметичность воздуховодов).



Рис. 2.38. Диагностическая заглушка для проверки герметичности воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования

- Тестирование с помощью специального калиброванного вентилятора (Duct Blaster). Диагностическая установка напоминает небольшую «вентиляторную» дверь (рис. 2.39).

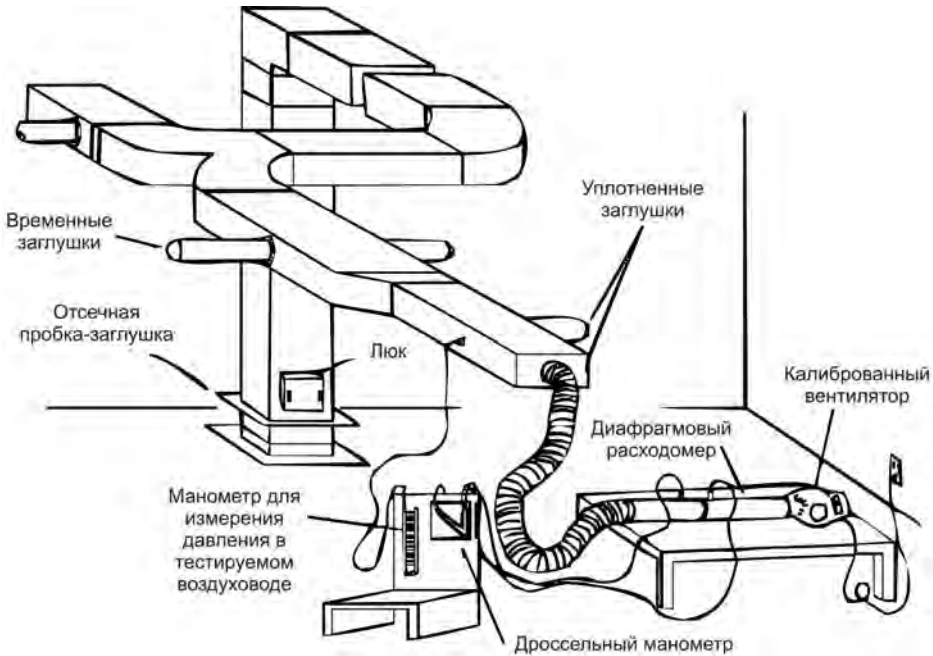


Рис. 2.39. Метод тестирования системы воздуховодов вентиляционной системы

Проведение тестирования включает следующие шаги:

- Все приточные и вытяжные решетки запечатываются полиэтиленом и скотчем (рис. 3.40), кондиционер (если есть) выключается.
- Устанавливается диагностическое оборудование (недалеко от отопительной установки или большой рециркуляционной вентиляционной решетки).
- Датчик манометра вводится в камеру обработки воздуха.
- Калиброванный вентилятор включается и начинает нагнетать давление воздуха до 25 Па (типичное рабочее значение для систем механической вентиляции). Воздушный поток через вентилятор (отображается манометром в кубических футах в минуту) соответствует воздушному потоку, просачивающемуся через негерметичности в системе воздуховодов.

Обеспечение герметичности здания при строительстве новых домов

Перед выбором стратегии герметизации необходимо учесть взаимодействие между любыми герметизирующими материалами и остальными компонентами здания и его инженерных систем, в том числе:

- теплоизоляцией;
- системами по контролю уровня влажности;
- системами вентиляции.

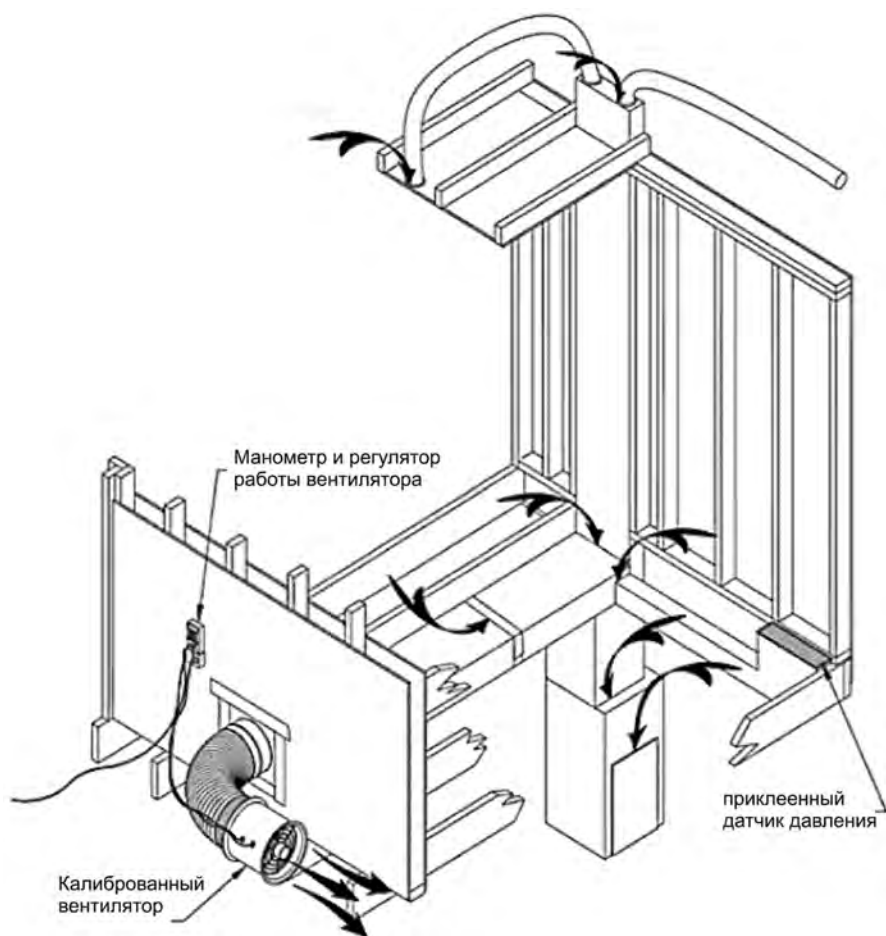


Рис. 2.40. Тестирование герметичности воздуховодов

Герметичность поверхностей лучше всего обеспечивать с внутренней стороны каждого из конструктивных элементов здания.

Для кирпичных и каменных зданий для этой цели применяется штукатурка. Для легких строительных конструкций используются деревянные материалы или фанера, полиэтиленовые пленки, прессованная сухая штукатурка или армированный строительный картон, с тщательным проклеиванием соединительных швов. Для склеивания листов из полиэтиленовой пленки применяются специальные бутилкаучуковые клейкие ленты. Строительный картон обрабатывается клеем на основе акрилата или натурального каучука. Стыки между деревянными или фанерными листами можно проклеивать бутилкаучуковыми лентами. Иной

вариант — нарезать ленты из строительного картона и обработать их соответствующими клеями. Труднее всего обеспечить герметичные стыки в форме линий там, где оштукатуренная стена стыкуется с пленками или плитами:

- Если герметизируемая поверхность с одной стороны покрывается полиэтиленовой пленкой, то место стыка с оштукатуренной поверхностью следует либо армировать с помощью натянутой цельнорешетчатой металлической сетки и заштукатурить, либо проклеить клеем на основе акрилата или полиуретановым клеем-затиркой для швов и стыков.
- Листы из армированного строительного картона можно приклеивать каучуковым клеем к гладкому подстилающему слою.
- Стыки между деревянными или фанерными плитами и штукатуркой следует проклеивать бумажными или картонными лентами.

Особенно сложно устранять негерметичности в местах точечных проколов — иначе говоря, обеспечить герметичные подводы в местах, через которые проходят кабели или трубопроводы. Каждый элемент, проходящий через герметизируемую поверхность (к таким элементам относятся балки, вентиляционные и другие трубопроводы и т. д.), представляет собой разрыв в герметизируемой поверхности и должен быть надлежащим образом изолирован. При использовании легких строительных конструкций при проколе герметизируемых плоскостей для провода через них проникающих элементов можно применять манжеты из герметизирующих пленок или картона и герметизировать места стыков уже описанным методом. Можно прибегнуть и к герметизирующим клейким лентам. Места прокола для проводки трубопроводов через оштукатуренные каменные или кирпичные стены можно герметизировать специальными круглыми резиновыми уплотняющими прокладками или герметизирующими пастами, долгое время сохраняющими эластичность.

Особую проблему представляет каминные дымоходы. Пористая каменная облицовка представляет собой нарушение герметичности. Поэтому каминный дымоход должен быть полностью оштукатурен, в том числе и там, где он проходит через неуплотненное перекрытие из деревянных балок. Стык между герметизирующими материалами при прохождении как через внутренние, так и через внешние стены должен быть герметизирован либо оштукатуриванием, либо проклеиванием. Все соединения, стыки и проколы следует тщательно планировать, а после выполнения работ — обеспечивать их герметизацию. В случае обнаружения мест утечки или подсоса не существует другого варианта, кроме их проклеивания или уплотнения пастообразным герметиком.

Образование плесени на стенах и перекрытиях

Образование плесени на стенах и перекрытиях, особенно в углах комнат и на откосах окон, в старых зданиях является весьма распространенной проблемой. Причины образования плесени — это не только неправильные действия жильцов,

но и недостаточная теплоизоляция наружной стены, в том числе обусловленная образованием «тепловых мостиков».

Для роста плесневых грибков необходима влага. Стены в жилищах становятся влажными из-за конденсации влаги из воздуха, когда температура поверхности стены оказывается ниже, чем температура точки росы при заданной относительной влажности воздуха. Диаграмма, представленная на рис. 2.41, показывает общую зависимость между температурой воздуха в помещении, относительной влажностью воздуха в этом же помещении и температурой точки росы. Если температура воздуха в помещении составляет 20 °С при относительной влажности воздуха 60 %, то температура точки росы на поверхности стены равна примерно 12 °С, а при температуре воздуха 15 °С и относительной влажности 70 % она составит 9,5 °С. В качестве других причин появления плесени можно назвать влагу, поднимающуюся из цоколя, ливневые дожди, пропитывающие наружную штукатурку внешних стен, и, наконец, негерметичные водосточные трубы и желоба.

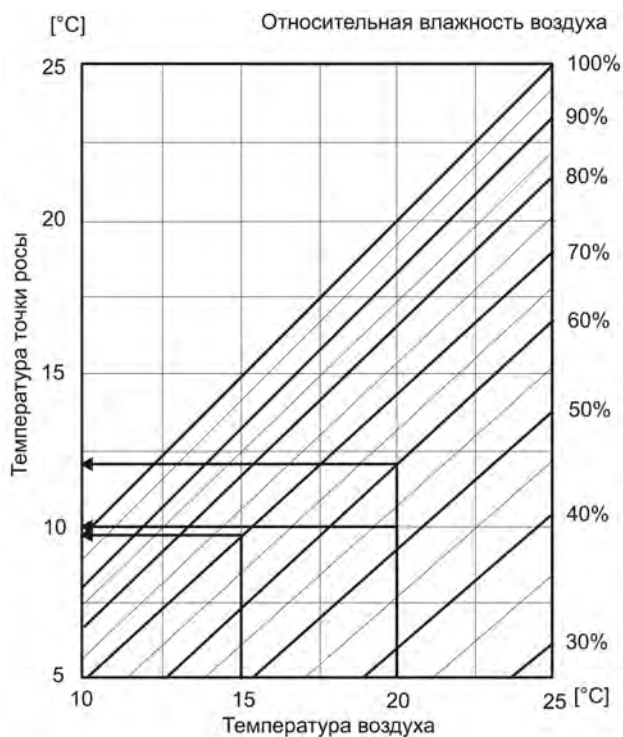


Рис. 2.41. Общая зависимость между температурой воздуха в помещении, относительной влажностью воздуха в нем же и температурой точки росы (цит. по: Recknagel-Sprenger: Handbuch der Heizungs- und Klimatechnik)

Если температура внутренней поверхности стены оказывается ниже, чем температура точки росы, вследствие недостаточной теплоизоляции, из-за наличия «тепловых мостиков» и/или вследствие недостаточной конвекции (в углах,

за шторами, за шкафами и другой массивной мебелью), то избыточная влага из воздуха будет конденсироваться и осаждаться в холодной зоне. С течением времени длительное пропитывание покрытий (ковровых, лакокрасочных), содержащих питательные органические вещества, приводит к образованию плесени. Если окна в помещении герметичны и оно недостаточно хорошо проветривается, это приведет к тому, что влажность воздуха в нем будет постоянно повышена. В результате выделение конденсата в таких холодных зонах усиливается до такой степени, что в конце концов конденсат появляется даже на относительно теплых поверхностях стен.

Таким образом, во многих случаях причинами образования плесени служат недостаточная теплоизоляция и плохое проветривание. В рассматриваемом примере одна из стен имеет теплоизоляцию, и ее коэффициент теплопроводности $U = 0,25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ — в то время как другая стена теплоизоляции не имеет и ее коэффициент теплопроводности $U = 1,45 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. В результате температура поверхности в углу падает до $10 \text{ }^\circ\text{C}$, так что образование плесени начинается уже при относительной влажности воздуха 52 % (рис. 2.42).

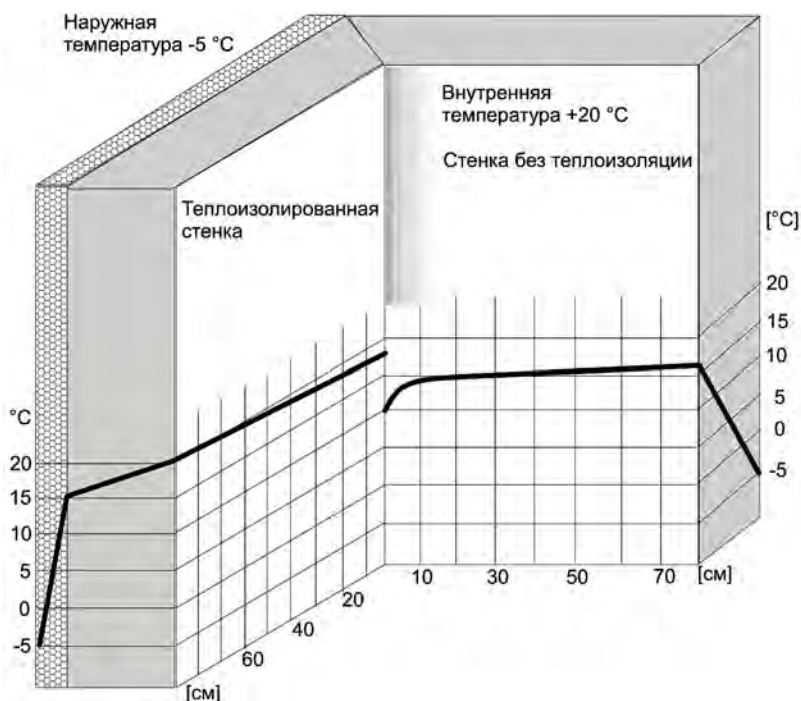


Рис. 2.42. Причины образования плесени в угловом помещении. Цит. по учебным материалам для сотрудников Международного энергетического агентства (МЭА): Schulungsmaterial der Energieagentur NRW, Impuls-Programm¹⁶

¹⁶ См. http://de.wikipedia.org/wiki/Internationale_Energieagentur, <http://tinyurl.com/yby2mxx>

Средства борьбы с образованием плесени сводятся к следующим действиям: во-первых, необходимо усилить теплоизоляцию наружной стены (или другого конструктивного элемента здания), чтобы повысить температуру внутренней поверхности стены и предотвратить образование конденсата. Во-вторых, в хорошо теплоизолированных зданиях рекомендуется применять систему вентиляции с автоматическим управлением влажностью воздуха, что позволяет снизить относительную влажность воздуха до значений, при которых она становится некритичной.

Диффузия пара

В связи с мерами по теплоизоляции часто всплывает и такое понятие, как «диффузия пара». Это явление не поддается визуализации, так как водяной пар, как и другие вещества, просачивающиеся через элементы конструкции здания, невидим. В первую очередь в холодное полугодие (осень-зима), когда снаружи здания воздух охлаждается до низких температур, а внутри при комнатных температурах наблюдается высокая влажность, водяной пар конденсируется на внутренних сторонах стен. При долговременном воздействии этот конденсат может полностью пропитать стены и привести к их повреждению. Чтобы ослабить образование конденсата или, в идеальном случае, сделать его невозможным, применяются теплоизоляционные и пароизоляционные материалы.

Большинство строительных материалов могут впитывать влагу и затем ее выделять. По этой причине они более-менее проницаемы для влаги. При этом в холодные сезоны теплый воздух внутри здания, как правило, содержит больше водяного пара, нежели холодный уличный воздух (иными словами, относительная влажность воздуха в помещениях выше, чем на улице). В результате такого перепада давления водяных паров они просачиваются наружу через массивные стены здания. Поскольку тепло утекает из помещений наружу и температуры снижаются в направлении изнутри наружу, может случиться так, что в некоторых строительных материалах водяной пар будет конденсироваться. В однослойных однородных кирпичных стенах конденсат зимой образуется часто, но это не сильно заметно, потому что количество конденсата очень мало. Кроме того, в теплые сезоны (весна-лето) кирпичные стены, как правило, полностью просыхают.

Чтобы избежать повреждения конструкций вследствие пропитывания их влагой, предлагаются две стратегии:

1. На теплую и влажную внутреннюю сторону наружной стены необходимо нанести пароизоляцию из строительных материалов, замедляющих диффузию, а на наружную, сухую и холодную, — теплоизолирующий слой из материала, не препятствующего диффузии.
2. Утеплить внешнюю стену снаружи. Тогда температура внутри стены повысится, потому что слой теплоизоляции покроет большую часть конструктивного элемента. Поэтому, как правило, риск выпадения конденсата при внешней теплоизоляции снижается (кроме случаев установки паронепроницаемой наружной облицовки). Напротив, при установке внутренней теплоизоляции температура в расположенных за теплоизоляцией слоях снижается, повышая

опасность выпадения конденсата, особенно если внутренняя теплоизоляция не защищена пароизолирующими слоями (например, парозащитной прокладкой).

Вывод

Внешняя теплоизоляция не только позволяет экономить энергию, но и поддерживает здание в тепле и сухости. По этой причине внешней теплоизоляции в большинстве случаев следует отдать принципиальное предпочтение перед внутренней. Тем не менее в некоторых случаях можно установить и внутреннюю теплоизоляцию, выполнив реконструкцию таким образом, чтобы конструктивные элементы здания не подвергались опасности выпадения конденсата.

Масштабы переноса влаги путем диффузии часто переоцениваются. При этом совершенно не учитывается тот факт, что влагообмен возможен и через конвекцию (т. е. путем переноса с воздухом). Если в конструктивном элементе имеются полости и пустоты, то влагообмен может происходить и через них, и тогда влага в действительности переносится намного быстрее и в гораздо больших количествах.

Особенности диффузии тепла и водяного пара через одно- и многослойные внешние стены здания показаны на рис. 2.43.

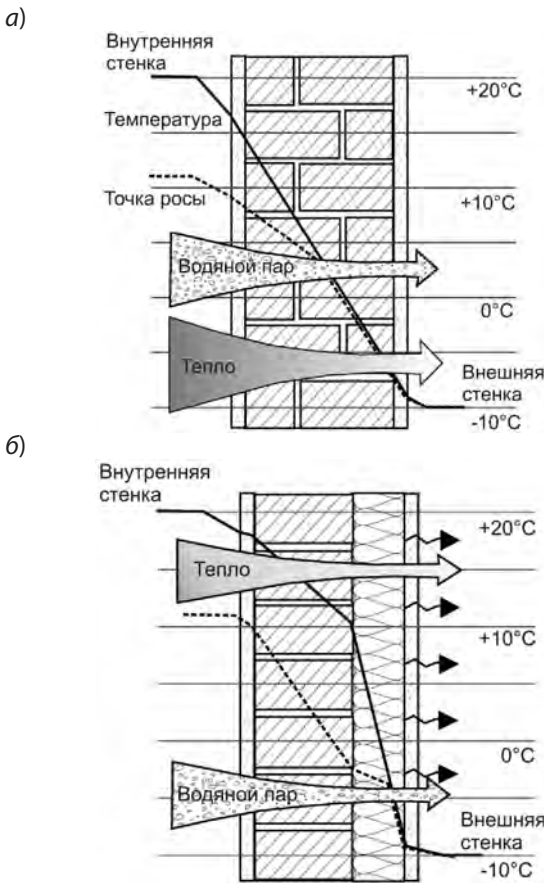


Рис. 2.43, начало

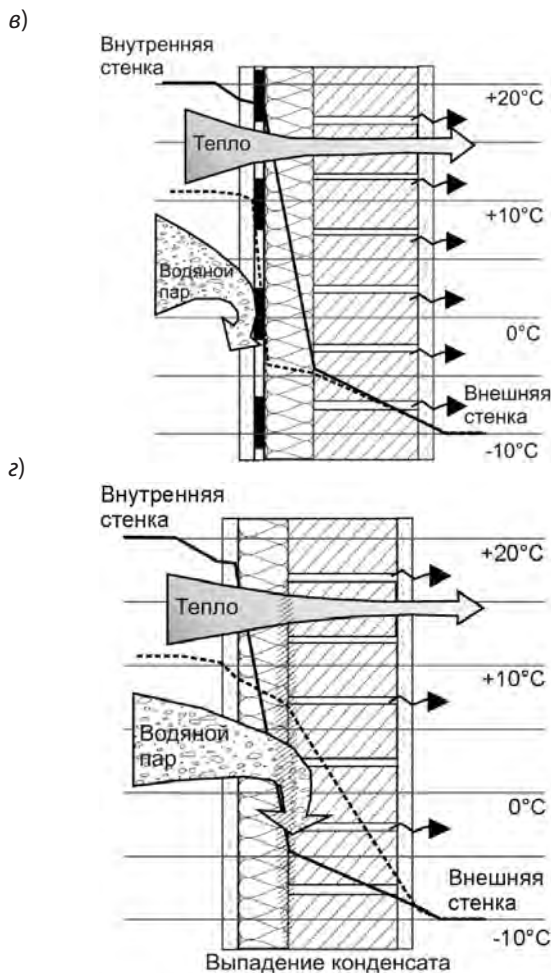


Рис. 2.43, окончание. Диффузия тепла и водяного пара через одно- и многослойные внешние стены здания: *а* — характер потоков тепла и водяного пара через однородную внешнюю стену примерно одинаков; *б* — внешняя теплоизоляция не создает проблем с пропитыванием влагой; *в* — установка пароизолирующей прокладки с внутренней стороны при внутренней теплоизоляции препятствует попаданию больших количеств влаги в конструкцию; *г* — при внутренней теплоизоляции, если не предусмотрено пароизолирующей прокладки, в теплоизолирующем слое может начаться конденсация влаги (источник: Arndt, H.: Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis. Berlin, 1996)

Принцип оптимизации теплоизоляции

Применение усиленной теплоизоляции возможно при любом строительстве: в кирпичных, деревянных зданиях, зданиях из сборных элементов, зданиях с использованием различных видов несъемных опалубок, зданиях из металлических конструкций и в смешанных вариантах.

Из опыта строительства энергетически эффективных новостроек можно вывести следующий важный принцип: при устройстве теплоизоляционной оболочки не следует экономить на ее толщине. Этот принцип в особенности справедлив для пассивных домов, так как хорошая теплоизоляционная оболочка является экономически оправданным путем по экономии энергии.

Выбор теплоизолирующих материалов

Осуществление теплоизоляции и герметизации оболочки здания при реконструкции старых домов позволяет снизить энергетические затраты здания и уменьшить выбросы CO₂ в атмосферу. С другой стороны, при изготовлении теплоизолирующих и уплотняющих материалов тоже расходуется энергия, а в атмосферу выбрасывается углекислота. Тем не менее теплоизоляция и герметизация оболочки существующих зданий всегда окупается. Кроме того, необходимо уделить внимание аспектам экологической безопасности и защиты окружающей среды. В настоящем пособии предпочтение будет отдаваться таким теплоизолирующим материалам, использование которых с точки зрения экологии считается рекомендованным. При выборе строительных материалов рекомендуется руководствоваться следующими соображениями:

- **Доступность сырья.** Идет ли речь о доступных видах сырья или, например, о вторичном сырье? Ограничены ли источники сырья, насколько велики их запасы? Наносит ли добыча этого сырья вред окружающей среде?
- **Расход энергии.** Насколько высоки затраты первичной энергии на добычу сырья, его производство, транспортировку, переработку, производство конечной продукции и ее доставку потребителю? Расходуется ли дополнительная энергия в тех случаях, когда материал требуется утилизировать?
- **Нагрузка на окружающую среду.** Какую нагрузку на окружающую среду представляют собой добыча сырья, производство продукции, ее транспортировка, использование в строительстве и, наконец, утилизация? Происходят ли при этом выбросы вредных веществ (пыль, летучие соединения, радиоактивные вещества)? Сильно ли при этом страдает экология?
- **Сроки эксплуатации.** Насколько долговечен продукт, в течение скольких лет он может эксплуатироваться и оставаться сохранным? Какие затраты (материалы, энергия, работа) требуются на поддержание конструкции?
- Оказывает ли материал **вредное влияние на здоровье жильцов домов**, в строительстве которых использовался этот материал? Страдает ли здоровье рабочих, занятых добычей и переработкой сырья?
- Полностью ли раскрыт **химический состав материала**? Нет ли в составе стройматериала компонентов, вредное влияние которых на организм человека хорошо известно и подтверждено? Не выделяются ли при переработке и изготовлении материала вредные вещества или яды? Не происходит

ли выделения летучих веществ в окружающую среду в процессе эксплуатации? Не наблюдается ли посторонних или просто неприятных запахов?

Об экологически вредных материалах

Одной из причин пристального внимания к этой теме послужила медицинская статистика: участились факты обращения к врачам людей с жалобами на головную боль, тошноту, раздражение глаз и другими аллергическими проявлениями. Первая острая реакция на токсичные вещества, выделяемые такими материалами, называется «жилищным синдромом», симптомы которого со временем исчезают. Если человек продолжает жить в таком жилище, состояние его здоровья может постепенно ухудшаться из-за накопления в организме вредных веществ.

Естественно, что чаще всего застройщики в нашей стране при возведении дома и выборе строительных материалов руководствуются их относительно низкой стоимостью. Ведь не секрет, что большинству приходится при строительстве экономить практически на всем. К сожалению, лишь по прошествии некоторого времени может прийти понимание того, что дешевые стройматериалы все равно «возьмут свое», нанеся вред вашему здоровью.

Поэтому предпочтение всегда следует отдавать экологически чистым строительным материалам. Для начала внимательно ознакомьтесь с характеристиками строительного материала, который собираетесь использовать при строительстве дома, узнайте его потребительские свойства и качества. В принципе, вредные вещества при большом желании можно найти почти в любом строительном материале. (Это особенно касается тех материалов, при изготовлении которых использовались химические добавки для придания изделию необходимых характеристик, например прочности.) Но без них в производстве, к примеру, битума, ДВП, ДСП, полимерных материалов обойтись нельзя, поэтому подобные материалы находятся в «группе риска». Главное, что вы должны иметь в виду, — это то, что любой из приобретаемых вами строительных материалов должен обладать санитарно-эпидемиологическим заключением. Данное требование касается абсолютно всей продукции, реализуемой как на строительных рынках, так и в магазинах. Такой сертификат выдается после исследования материала, в ходе которого выявляется его соответствие санитарным нормам и безопасность для здоровья. С этим документом можно ознакомиться у продавца или фирмы-поставщика. Следует отметить, что продукция известных фирм в этом плане более надежна.

Обычно при строительстве «каркаса» дома останавливают выбор на двух стройматериалах: кирпиче или дереве. Каждый из них имеет как преимущества, так и недостатки. Дерево — один из самых экологически чистых материалов. Но, кроме вас, дерево стремятся сделать своим домом множество паразитов, попутно уничтожая его, поэтому без обработки специальными составами древесина долго не продержится. Кроме того, нужно помнить, что древесина подвержена процессам гниения, а это значит, что нужно позаботиться о средствах против гниения. Но ведь эти средства и составы не могут защищать дерево вечно! В процессе

эксплуатации дома они испаряются и теряют свою защищающую способность, поэтому обработка дерева носит достаточно регулярный характер.

Такой строительный материал, как кирпич, не страдает от этих проблем, но если дом возведен в условиях повышенной влажности, то даже при хорошем отоплении его стены довольно трудно прогреть. А если отопление некачественное или происходят сбои, то жители дома обречены на частые простуды.

Следующим по экологической безопасности стройматериалом является бетон, со своими производными: газобетоном и пенобетоном. Такой материал, как асбест, который используется в производстве шифера, запрещен во многих странах. Многие, экономя на качественном покрытии из черепицы, покрывают крышу шифером. Однако это сомнительный выбор: ведь горячий шифер, как и асбест, выделяет вредные частицы и даже может спровоцировать рак легких. Это же можно сказать и об изделиях из пластмассы, которая применяется при производстве канализационных труб и фитингов.

Если говорить о внутренней отделке интерьера, то здесь вред здоровью могут нанести очень много материалов. В первую очередь это относится к лакам и краскам, используемым как для наружных, так и для внутренних отделок. Краски, лаки, паркетные пропитки — все они несут опасность как сразу после окраски, так и длительное время после нее. Самым распространенным действием этих материалов является ожог дыхательных путей. В число опасных красок входят синтетические и те, которые выпускают с растворителями. Эти краски токсичны и источают резкий запах. Металлсодержащие краски также могут быть опасны: высухая, их частицы могут попасть на мебель, в воздух, в пищу, и затем в организм, нанося вред здоровью.

Сегодня стремительную популярность набирают окна из ПВХ. Поливинилхлорид (ПВХ) — вещество, которое часто используется в изготовлении различных предметов отделки внутренних помещений (плинтусы, уголки, молдинги). Это вещество при разложении может выделять в атмосферу вредные компоненты. Полистирол и пенополистирол, из которых изготавливаются многие отделочные материалы, ничем не уступают поливинилхлориду по вредности.

Очень популярный материал — ДСП. Он широко применяется в производстве и отделке мебели. Если в помещении температура воздуха выше 20 °С, фенол, который содержится в ДСП, активно испаряется. Часто материал, которым обклеена мебель из ДСП, не имеет достаточной пропускной способности, так что фенол скапливается под ним в опасной концентрации. Фенол является признанным канцерогеном, который активно влияет на центральную нервную систему. Единственным выходом здесь будет проветривание мебели из ДСП в разобранном виде.

Экологически чистый паркет, считающийся безвредным, можно опрострачиво покрыть токсичным лаком, что сделает его крайне опасным. Из этого следует, что нужно знать, какие строительные и отделочные материалы вы покупаете, их свойства, что с ними делать можно, а что нельзя.

Общие рекомендации по выбору утеплителей могут быть сведены к следующему:

- Керамзит (керамзитовый гравий) — экологичный, долговечный, но малоэффективный и трудоемкий в работе. Не используется для внутренних помещений.
- Стекловата — эффективный утеплитель, но сильно «сыплется»; кроме того, со временем она может «просесть» и оставить неутепленные участки.
- Пенопласт, пенополистирол прочны, доступны, но плохо выводят пары из помещений наружу, вследствие чего на стенах выпадает конденсат и начинается рост плесневых грибков. Кроме того, эти материалы горючи и при пожаре выделяют вредные вещества.
- Каменная вата (минеральная вата на основе базальта) хорошо защищает от жары и холода, безопасна для здоровья, рекомендована к применению в детских, оздоровительных учреждениях и жилых помещениях. Это негорючий материал, не выделяющий при пожаре токсичных газов.

Базы данных с информацией о классах экологического качества строительных материалов в виде справочных информационных карточек можно найти по адресу <http://art-con.ru/node/1016>.

Качество теплоизоляции для пассивных домов

Тепловые потери зимой в пассивном доме пренебрежительно малы. Температура на внутренней поверхности наружных стен почти равна температуре внутреннего воздуха и не зависит от вида системы отопления. Это создает очень комфортный микроклимат и не допускает повреждения наружных конструкций под воздействием влажного воздуха.

Летом хорошая теплоизоляция защищает от перегрева. Для комфорта внутренних помещений в летнее время необходима хорошая защита от солнца на окнах и вентиляция в достаточном количестве. Хотя в нашем климате защите от летнего перегрева уделялось крайне мало внимания, но аномальная жара, в последние годы зачастую поражающая летом Россию, заставляет учитывать и эту проблему. Для этой цели применяются специальные отражающие изоляционные материалы (reflective insulation), которые, как правило, состоят из тонкой алюминиевой фольги на разнообразных подложках.

В пассивных домах качество теплоизоляционной оболочки и герметичность здания апробированы временем. Следующий принцип — это конструирование без «тепловых мостиков». Теплоизоляционная оболочка устраивается вокруг всего здания без разрывов и без уменьшения толщины. Благодаря этому не остается ни холодных углов, ни высоких тепловых потерь.

Наиболее рациональными видами энергетически эффективных наружных ограждающих конструкций являются многослойные композитные конструкции стен и покрытий с использованием минеральных материалов.

Основные резервы экономии тепла можно реализовать при утеплении существующих жилых домов. Утепление наружных стен — самый дорогостоящий и трудоемкий процесс — обеспечивает снижение тепловых потерь примерно на 12–15 %.