

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ НАРУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ И ТЕПЛОВЫХ МОСТОВ НА ТЕПЛОПТЕРИ ЗДАНИЯ

Д. В. ОЛЕНДАРЁВА, А. О. ПИЛИПЕНКО, технические специалисты
ООО «Институт пассивного дома», Москва

*«Думай глобально, действуй локально!»
Сэмюэль Джонсон (1709–1784 гг.)*

Стандарт пассивного дома давно уже завоевал всеобщее признание во всем мире благодаря трем своим основным преимуществам: комфорту, энергосбережению и экономии. Появляется все больше сертифицированных компонентов и решений, пригодных для пассивных домов и зданий с низким энергопотреблением.

Однако просто использование компонентов для пассивного дома не всегда приводит к предполагаемому результату. Необходимо грамотное проектирование и контроль качества на всех этапах строительства.

В Германии технология пассивного дома устанавливает определенные требования по герметичности наружной оболочки здания и конструированию «без тепловых мостов». Однако в России далеко не все застройщики стремятся при проектировании и строительстве энергоэффективных зданий соблюсти и проверить два этих важнейших требования.

Предельное значение кратности воздухообмена при испытаниях на воздухопроницаемость отапливаемой оболочки здания по методике BlowerDoor составляет $n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$. Это означает, что при отключенной системе вентиляции, закрытых дверях, окнах и всевозможных отверстиях в наружной оболочке при искусственно созданном разрежении/нагнетании в 50 Па будет происходить полная замена воздуха через неплотности в ограждениях не более чем 0,6 раза в час.

В немецких нормах DIN EN 13829 для стандартных зданий установлены следующие требования: при вентиляции с естественным побуждением — $n_{50} \leq 3 \text{ ч}^{-1}$, а с механическим побуждением — $n_{50} \leq 1,5 \text{ ч}^{-1}$.

В России, согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003», более мягкие величины: для вентиляции с естественным побуждением — $n_{50} \leq 4 \text{ ч}^{-1}$, с механическим побуждением — $n_{50} \leq 2 \text{ ч}^{-1}$.

Однако в расчетах энергопотребления по российским нормам характеристика n_{50} не учитывается, хотя ее действительное значение может существенно повлиять на вентиляционные теплопотери, особенно в зданиях с низким энергопотреблением.

В качестве примера можно привести влияние расчетных величин n_{50} на расход тепловой энергии на отопление энергоэффективного жилого дома в Санкт-Петербурге (табл. 1).

В проекте применена механическая система вентиляции с рекуперацией. В качестве источника энергии для отопления используется природный газ.

Программа РНПП (Пакет проектирования пассивного дома) позволяет



учитывать в расчетах величину n_{50} — в соответствии с немецкими нормами DIN EN 13790, а также линейные и точечные теплотехнические неоднородности Ψ и X — согласно методике ISO 10211.

Ψ , Вт/(м·°C) — удельные потери теплоты, отнесенные к единице длины линейной теплотехнической неоднородности.

X , Вт/°C — удельные потери теплоты, приходящиеся на одну точечную теплотехническую неоднородность.

Определять теплопотери можно по наружным и внутренним размерам. В Германии мосты учитываются по наружным размерам. В России методики СНиП предлагают расчет по внутренним размерам.

Таблица 1

Энергозависимая площадь: 128 м ²	Вентиляционные теплопотери, кВт·ч	Удельный расход тепла на отопление, кВт·ч/м ² в год	Эксплуатационные затраты на отопление за отопительный период (7 мес.), руб.
n ₅₀ = 0,6 ч ⁻¹	3 850	108	4 838
n ₅₀ = 2 ч ⁻¹	5 433	120	5 376
n ₅₀ = 4 ч ⁻¹	7 695	138	6 182
n ₅₀ = 10 ч ⁻¹	14 479	191	8 557

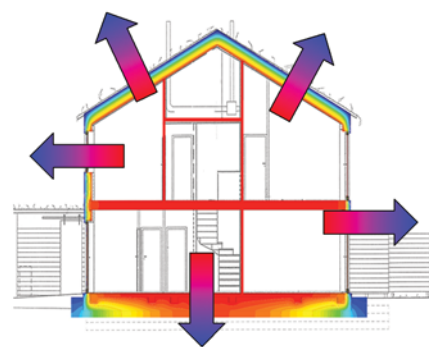


Рис. 2

Существует огромное количество компьютерных программ для расчета тепловых мостов. Например, HEAT 2 — программа для решения задач двухмерного теплообмена; HEAT 3 — программа для решения задач трехмерного теплообмена.

Программный комплекс HEAT 2/HEAT 3 (рис. 4) — один из наиболее современных и распространенных. Его отличает удобный интерфейс, понятное меню, грамотное и точное предоставление результатов расчета. Расчетная сетка позволяет разбивать расчетную область на огромное количество ячеек, например, в HEAT 3 может быть использовано до 50 млн узлов.

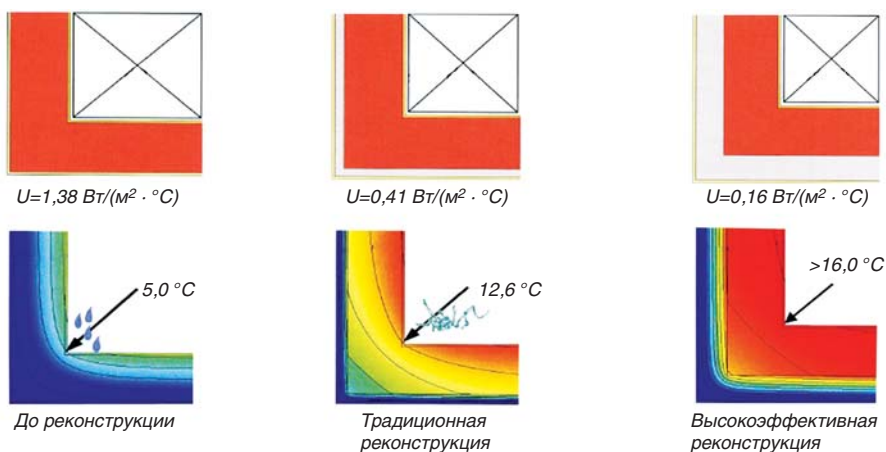


Рис. 1

Для пассивных домов нужно стремиться, чтобы для каждого узла соблюдались следующие условия:

$$\Psi \leq 0,01 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

$$\sum \Psi \cdot l + \sum X \leq 0.$$

Проектирование конструкций без тепловых мостов важно не только для пассивных домов. На рисунке 1 показаны эффекты от тепловых мостов при реконструкции здания. Нетрудно проследить на внутренней поверхности наружного угла здания изменение температуры (оно влияет на появление влаги и образование плесени в наружных углах).

Теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции (рис. 2) можно рассчитывать, используя только формулу:

$$Q = \sum U_i \cdot A_i.$$

Однако полные удельные теплопотери через оболочку здания включают еще и теплотехнические неоднородности:

$$Q = \sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi \cdot l + \sum X \cdot n,$$

где A_i — площадь i-го элемента ограждающих конструкций, м²;

U_i — коэффициент теплопередачи i-го элемента ограждающих конструкций здания, Вт/(м² · °C);

Ψ и X — линейный и точечный коэффициенты теплопередачи теплового моста, Вт/(м · °C) и Вт/°C соответственно; l — длина линейного теплового моста, м; n — количество точечных неоднородностей, ед.

На рисунке 3 приведены основные узлы с тепловыми мостами: примыкание фундаментной плиты, оконные примыкания, узлы с кровлей, межэтажные перекрытия, балконы.

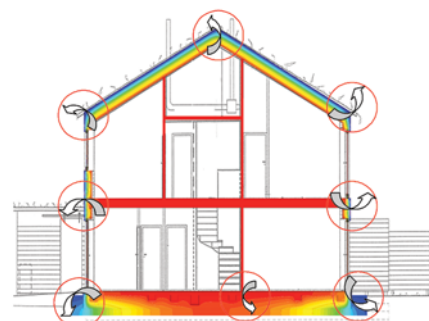


Рис. 3

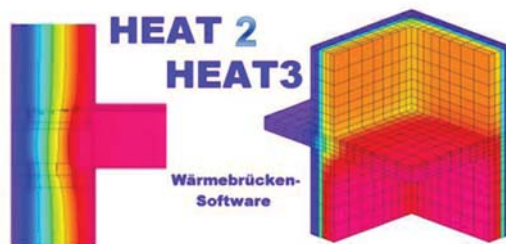


Рис. 4

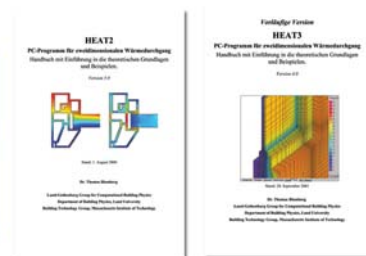


Таблица 2

Теплопотери от тепловых мостов с наружным воздухом, кВт · ч/год	Теплопотери от тепловых мостов по краям фундаментной плиты, кВт · ч/год	Теплопотери от тепловых мостов с грунтом, кВт · ч/год	Общие теплопотери от тепловых мостов, кВт · ч/год	Удельный расход тепла на отопление, кВт · ч/м ² в год	Эксплуатационные затраты на отопление за отопительный период (7 мес.), руб.
Вариант 1: неоптимизированные тепловые мосты					
377	543	200	1 120	128	5 734
Вариант 2: оптимизированные тепловые мосты					
-623	195	190	-238	108	4 838

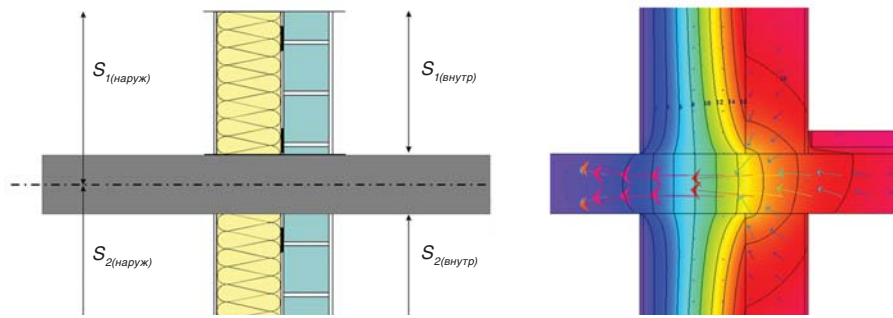


Рис. 5

С помощью этих инструментов вы сможете моделировать процесс теплопередачи через такие строительные компоненты, как окна, стены, фундамент, кровля и др., где возможно влияние тепловых мостов. Анализ теплопередачи в HEAT позволяет оптимизировать узлы строительных конструкций и оценить распределение температуры внутри них (здесь возникают проблемы, вызванные конденсацией, повреждением целостности и герметичности конструкций из-за влаги). Анализ теплопередачи основан на методе конечных элементов, который дает возможность моделирования сложной геометрии строительных конструкций.

Коэффициент теплопередачи теплового моста рассчитывается по формуле:

$$\Psi = (Q_1 - Q_2) / \Delta t,$$

где Q_1 — тепловой поток через конструкцию без теплотехнической неоднородности, Вт/м;

Q_2 — тепловой поток через конструкцию с теплотехнической неоднородностью, Вт/м;

Δt — разность температур наружного и внутреннего воздуха.

На рис. 5 приведен пример узла с балочной плитой, здесь $\Psi = +0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Решением этой проблемы будет применение консольных термоэлементов.

Примеры решений узла с фундаментной плитой показаны на рис. 6.

Для оценки влияния тепловых мостов на теплопотери здания представлена сравнительная таблица 2 (для индивидуального энергоэффективного жилого дома каркасного типа с энергозависимой площадью 128 м^2 , Санкт-Петербург).

Первый вариант — для неоптимизированных тепловых мостов, второй — с учетом оптимизации основных узлов наружных ограждений. Расчеты производились по наружным размерам.

Основные правила для конструирования без тепловых мостов

1. Правило избегания тепловых мостов: по возможности не делать отверстий в теплоизоляционной оболочке.
2. Правило прохождения теплоизоляции: если невозможно избежать отверстий в теплоизоляционном слое, то необходимо по возможности в этом месте максимально увеличить сопротивление теплопередаче в слое теплоизоляции.

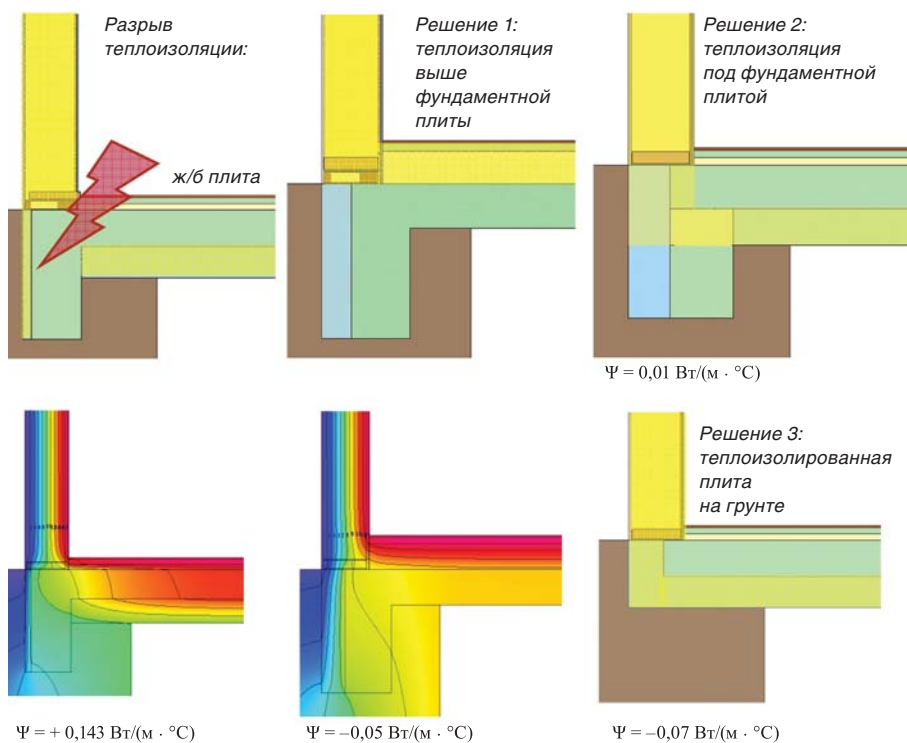


Рис. 6



Терморазъемы



Пеностекло/ гравий из пеностекла: высокая прочность на сжатие, несущая способность



Уплотнительные самоклеящиеся резиновые манжеты для герметичного прохождения коммуникаций через теплоизоляционный слой

Рис. 7

3. Правило примыкания (для стыков): расположение утеплителя в стыках строительных элементов должно быть без пустых пространств.

4. Правило геометрии: выбирать по возможности грани с тупыми углами.

Сейчас появляется все больше материалов и технологий для конструирования без тепловых мостов и создания герметичного контура. Некоторые из них приведены на рисунке 7.

Также в настоящее время активно обновляется нормативная база по проектированию зданий, в том числе и по теплозащите ограждающих конструкций. С 01.07.2013 г. введен в действие СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Одним из существенных отличий версии СНиП 23-02-2003 от СП 50.13330.2012 является обязательное требование по расчету приведенного сопротивления теплопередаче $R_{0пр}$ с учетом температурных полей. Эта методика очень усредненная, к тому же в ней отсутствует понятие геометрических тепловых мостов, а поэтому нет их учета, нет и расчета для конструкций, контактирующих с грунтом и неотапливаемыми помещениями. Так что она не подходит ни для пассивных домов, ни для зданий с низким энергопотреблением.

Для зданий с низким энергопотреблением, как и для пассивных домов, необходимо тщательное проектирование, а также контроль качества на всех этапах строительства. Только так можно достичь желаемого результата. □