

# УЧЕТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В РОССИИ И ДРУГИХ ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ

В. Г. ГАГАРИН, д. т. н., член-корр. РААСН

**В данной работе рассмотрены вопросы расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в актуализированной редакции СНиП 23-02-2003, нормирования минимального значения сопротивления теплопередаче в России и Германии, а также выполнения расчетов сопротивления теплопередаче при проектировании зданий в некоторых странах Северной и Центральной Европы.**

## Введение

Сопротивление теплопередаче характеризует теплозащиту отдельных ограждающих конструкций зданий и является нормируемым показателем. На основании нормируемых значений этой величины зачастую делаются выводы об уровне энергосбережения зданий и проводятся сравнения этого уровня в России и других странах. С нормируемыми значениями сопротивления теплопередаче сравниваются расчетные значения.

В актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [1] использована методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, разработанная в НИИСФ [2] и гармонизированная с европейскими стандартами [3, 4]. Последнее обстоятельство позволяет сопоставлять расчетные значения сопротивления теплопередаче в России и за рубежом, о чем в данной статье представлены сведения.

**В отличие от российских стандартов, в Европе нормируемая величина  $U$  не учитывает влияния теплотехнических неоднородностей.**

## Методика расчета сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (приведена с незначительным упрощением) [1]:

$$R_0^{пр} = \frac{1}{U + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (1)$$

где  $U$  — коэффициент теплопередачи по глади конструкции (т. е. без учета теплопроводных включений), Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $\psi_j$  — удельные потери теплоты через линейную неоднородность  $j$ -го вида, Вт/(м · °С);

$l_j$  — протяженность линейной неоднородности  $j$ -го вида, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м/м<sup>2</sup>;

$\chi_k$  — удельные потери теплоты через точечную неоднородность  $k$ -го вида, Вт/°С;

$n_k$  — количество точечных неоднородностей  $k$ -го вида, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт/м<sup>2</sup>.

Величина  $U$  рассчитывается по известной формуле:

$$U = \frac{1}{R_0^{усл}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_s \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_s + \frac{1}{\alpha_{н}}}, \quad (2)$$

где  $R_0^{усл}$  — условное сопротивление теплопередаче по глади конструкции, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт; остальные условные обозначения в этой формуле хорошо известны и для краткости изложения опускаются.

Дополнительные потери теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающей конструкции существенны и определяются формулой:

$$\Delta U = \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k. \quad (3)$$

В СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [1] приведена методика (в обязательном приложении Е) определения величин  $\psi$  и  $\chi$  при помощи расчетов двухмерных или трехмерных температурных полей на ЭВМ. Она аналогична

методикам расчета DIN EN ISO 10211-1 [3, 4]. После определения этих величин расчет приведенного сопротивления по формуле (1) не представляет сложности. Для упрощения расчетов величин  $\psi$  и  $\chi$  в НИИСФ разработано пособие, содержащее их значения для типовых узлов ограждающих конструкций (готовится к публикации).

Следует отметить, что иногда применяемый коэффициент теплотехнической однородности конструкции можно рассчитать по формуле:

$$r = \frac{U}{U + \Delta U} \quad (4)$$

### Нормирование минимально допустимых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

#### 1. Нормирование сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в России.

При поэлементном нормировании в России приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции должно быть больше или равно нормируемому значению [1]:

$$R_0^{np} \geq R_0^{норм} \quad (5)$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче назначается равным произведению  $R_0^{норм} \cdot m_p$ , где  $R_0^{норм}$  принимается в зависимости от климатических условий района строительства по рассчитываемому значению градусо-суток отопительного периода (ГСОП) согласно широко известной таблице 3 [1];  $m_p$  назначается в зависимости от выполнения требований по удельному потреблению энергии зданием, но не может быть

меньше 0,63 для стен, 0,95 для светопрозрачных конструкций, 0,80 для остальных конструкций. Так, например, при действовавших до 2012 года климатических нормах для жилых зданий в Москве  $R_0^{норм} = 3,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  минимальное значение  $R_0^{норм}$  составляло:  $R_0^{норм} = 3,13 \cdot 0,63 = 1,97 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

В СП 50.13330.2012 [1] содержатся и другие требования к теплозащите, но данное является минимально допустимым.

#### 2. Нормирование минимально допустимых значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в Германии.

Из европейских стран наиболее развита система нормирования Германии. В ниже представленной таблице показаны минимально допустимые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, согласно данным DIN 4108 (вторая часть, таблица 3) [6]. В п. 5.2.4 данного документа изложены требования к конструкциям с тепловыми мостиками: «Сопротивление теплопередаче рассчитывается в соответствии с DIN EN ISO 10211-1 и EN ISO 10211-2 ...». Это означает, что рассматриваемые требования относятся к приведенному сопротивлению теплопередаче.

В указанных стандартах [3, 4] приведены методы расчета влияния теплопроводных включений на потери тепловой энергии через теплотехнические неоднородности конструкций. Они соответствуют методу расчета приведенного сопротивления теплопередаче, представленному в Приложении Е СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [1]. Однако в Германии нет такого понятия, как «приведенное сопротивление теплопередаче».

### Минимальные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (по данным DIN 4108 [6])

Конструкции		Сопротивление теплопередаче, R, м <sup>2</sup> · К/Вт
Наружные стены, стены помещений цокольного этажа, переходы, открытые коридоры, гаражи		1,2
Межкомнатные и межквартирные перегородки		0,07
Стены лестничных клеток	Для лестничных клеток с существенно более низкой температурой внутреннего воздуха (лестничные клетки с косвенным отоплением и т. п.) — с температурой внутреннего воздуха <10 °С, но, по крайней мере, с положительной температурой	0,25
	Для лестничных клеток с внутренней температурой > 10 °С (офисных зданий, коммерческих зданий, учебных зданий, гостиниц, ресторанов и жилых зданий)	0,07
Межкомнатные перекрытия, перекрытия между различающимися рабочими помещениями, перекрытия под помещениями мансарды	Общие	0,35
	В офисных зданиях с центральным отоплением	0,17
Основание под помещением без подвала	Общие	0,90
	В офисных зданиях с центральным отоплением	
Перекрытие под нестроенной мансардой, перекрытие под вентилируемым пространством между скатами крыши и обратной поверхностью стены при построенной утепленной мансарде		0,90
Перекрытия над подвалами, перекрытия над неотапливаемыми коридорами и т. п.		
Перекрытия (а также кровли), которые ограничивают помещения от наружного воздуха	Вниз (от помещения) над отапливаемыми гаражами, проездами (в т. ч. запертыми) и вентилируемыми пролазами <sup>1</sup>	1,75
	Вверх, например, крыши (по DIN 18530), крыши террас и перекрытия под террасами, инверсные крыши (по 5.3.3)	1,2

<sup>1</sup> Увеличенное сопротивление теплопередаче для предотвращения охлаждения ног

По данным, приведенным в таблице, можно видеть, что нормируемые в Германии минимально допустимые значения сопротивления теплопередаче существенно меньше, чем соответствующие минимально допустимые значения в России. Следует отметить, что к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций в Германии существуют и другие требования, но данное требование к сопротивлению теплопередаче является минимально допустимым.

#### Учет теплотехнических неоднородностей в практике проектирования теплозащиты

Требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций существуют во всех европейских странах, а наличие европейских стандартов [3, 4] свидетельствует о возможности учета тепловых мостиков (или мостиков холода), а правильнее, теплотехнических неоднородностей [10].

Каков действительный учет влияния теплотехнических неоднородностей на теплозащитные свойства ограждающих конструкций при проектировании зданий в различных странах?

#### Россия

Положение следует признать не вполне удовлетворительным. Значения приведенного сопротивления теплопередаче редко рассчитываются правильно при проектировании зданий и подготовке раздела «Энергоэффективность» [2]. Причин тому несколько.

Во-первых, отсутствие в предыдущих нормативных документах четкого определения самого понятия «приведенное сопротивление теплопередаче».

Во-вторых, нечеткое изложение методик расчета приведенного сопротивления теплопередаче в действовавшем СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» [7] и других нормативных документах.

В-третьих, неправильно воспринимаемая таблица 6 в СП 23-101-2004, содержащая показатели «минимально допустимых значений коэффициента теплотехнической однородности,  $g$ , для конструкций индустриального изготовления». В этой таблице значения  $g$  неоправданно высокие, как правило, недостижимые на практике. Вместо своего прямого назначения — ограничения конструкций по однородности — приведенные в этой таблице значения воспринимаются расчетчиками как ориентировочные значения  $g$  для соответствующих или похожих конструкций.

В результате принимаются завышенные значения  $g$ , что приводит к проектированию ограждающих конструкций с недостаточными теплозащитными свойствами.

Введение в действие актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 [1] с четкой методикой расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволит улучшить ситуацию.

В Европе тоже имеются препятствия для полноценного применения в практике проектирования теплозащиты ограждающих конструкций методов расчета и учета влияния теплотехнических неоднородностей. Эта ситуация хорошо описана в зарубежных публикациях [8], однако мы рассмотрим лишь некоторые аспекты из этого обзора, актуальные для стран Северной и Центральной Европы.

#### Дания

В нормах учитывается влияние тепловых мостиков как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий, и в обоих случаях используется упрощенный подход.

Простые конструктивные решения тепловых мостиков, как правило, определяются ручным вычислением. Сложные тепловые мостики должны оцениваться посредством подробного численного анализа, значения для всех типичных решений сведены в таблицы, которые представлены в стандартах, атласах или брошюрах. Составление таких таблиц принадлежит производителям строительных материалов.

Имеются определенные требования для значений  $U$  и, кроме того, некоторые требования максимальных значений  $\psi$  для трех видов узлов конструкций, в частности:  $0,03 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  для оконных откосов и  $0,15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  для примыкания стен к фундаментам. Сведений о требованиях к другим тепловым мостикам в датских нормах не содержится.

Для новых зданий должно быть выполнено требование к потреблению энергии, а также к максимальным значениям  $\psi$  для тех же тепловых мостиков: значение  $\psi$  может быть не более  $0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  для оконных откосов и не более  $0,40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  для примыкания стен к фундаментам.

Учет требований к данным тепловым мостикам при проектировании контролируется органами государственной власти и проверяется энергетическим консультантом.

#### Норвегия

В нормах разделяются тепловые мостики, которые влияют незначительно и мостики, которые должны быть приняты во внимание по сравнению со значениями  $U$ , (например, края бетонного пола, идущего частично через изолированную стену), последние тепловые мостики должны быть оценены отдельно.

Оба вида тепловых мостиков учитываются путем расчетов, которые обязательны и для новых и для реконструируемых зданий. Учет тепловых мостиков при проектировании ограждающих конструкций не проверяется властями.

#### Финляндия

В нормах учитывается влияние тепловых мостиков только для строящихся зданий. Расчет производится с упрощением, которое применимо для слоев конструкции, состоящих из материалов с различной теплопроводностью, расположенных параллельно потоку теплоты. Если отношение большей теплопроводности к меньшей двух смежных материалов такого слоя меньше 5, то в качестве теплопроводности всего слоя принимается усредненная по площади сечения теплопроводность материалов слоя. Если же это отношение теплопроводностей материалов больше 5, то элементы конструкции с большей теплопроводностью рассматриваются как тепловые мостики, влияние которых рассчитывается соответствующими методами или измерениями. Повышенное влияние линейных и точечных теплотехнических неоднородностей рассчитывается по формуле, аналогичной (3), и это число добавляется к значению  $U$  при расчетах трансмиссионных теплопотерь.

Нормы не содержат явных ограничений по влиянию тепловых мостиков. Соблюдение требований при проектировании конструкций не контролируется властями и предъявляется в рекомендательной форме.

#### Бельгия

На данный момент в Бельгии разработано 5 различных подходов к учету мостиков холода в новых зданиях.

1. Получение величины теплопотерь при математическом 3D/2D моделировании.

2. Добавление величины  $\Delta U$  к общей величине теплопотерь. Значения  $\psi$  и  $\chi$  могут быть приняты на основании моделирования или из таблиц (на данный момент они дополняются или разрабатываются новые).

3. В случае если все элементы конструкции выполнены согласно требованиям, то разрешается к величине теплопотерь по глади стены добавлять установленную величину,

**Требования к основной теплозащитной характеристике — сопротивлению теплопередаче — существуют во всех европейских странах, однако в большинстве из них нормы носят рекомендательный характер.**

учитывающую теплотехнические неоднородности. Максимальные значения  $\psi$  и прочие детали, относящиеся к данному подходу, находятся в разработке. Считается, что эта величина должна быть в пределах 5% погрешности относительно современных требований, предъявляемых к тепловой защите конструкций.

4. В случае, если в конструкции имеются нетиповые включения, которые не учтены в нормативных требованиях, то для этих элементов требуется отдельно провести 2D или 3D расчеты величин  $\psi$  и  $\chi$ .

5. Если же неоднородности вообще не учитываются, то при расчете делают некоторую добавку к общим трансмиссионным потерям здания.

Для любых новых зданий в Бельгии требуется сертификат энергопотребления и разрешение на строительство.

#### Нидерланды

В Нидерландах используются как упрощенный подход, так и расчет тепловых мостиков, однако их влияние учитывается только в новых возводимых зданиях.

Упрощенный метод заключается в добавке  $\Delta U = 0,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ .

Расчет влияния тепловых мостиков позволяет учитывать влияние только линейных теплотехнических неоднородностей, которое добавляется к теплопотерям по глади конструкций.

Официально это отслеживается властями, однако учет деталей никак не проверяется на практике.

#### Германия

Тепловые мостики учитываются либо как заданная величина  $\Delta U_{\text{WB}} = 0,05\text{--}0,15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$  для конструкций различного назначения, либо с использованием расчетов из Приложения 2 к DIN 4108 [9], в котором содержатся примеры узлов ограждающих конструкций с максимальными значениями  $\psi$ . Тепловые мостики учитываются при расчетах трансмиссионных теплопотерь через оболочку эталонного здания.

Теплотехнические неоднородности учитываются как в строящихся, так и реконструируемых зданиях, однако выполнение требований обычно никак не отслеживается.

#### Франция

Действующие стандарты предусматривают учет неоднородностей только для новых зданий. Точный расчет или атлас теплотехнических неоднородностей («Th-U») используются только для определения влияния линейных теплотехнических неоднородностей. Методы расчета основаны на европейских стандартах DIN EN ISO 10211 [3, 4] и др.

Согласно существующим требованиям величина теплового потока через линейные неоднородности не должна превышать  $0,65 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  для индивидуальных жилых зданий,  $1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  для многоквартирных зданий и  $1,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  для иных зданий. Однако выполняются эти требования или нет, компетентными органами никак не проверяется.

#### Польша

Нормативная база предусматривает учет тепловых мостиков как упрощенным методом, так и точным расчетом, причем не только для новых зданий, но и для реконструируемых. Упрощенный метод заключается в добавлении поправки к величине теплопередачи по глади:

– наружные стены с оконными или дверными проемами —  $\Delta U = 0,05 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ ;

– наружные стены с дверными или оконными проемами и балконными плитами, проходящими через стену, —  $\Delta U = 0,15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ .

Хотя проект здания перед получением разрешения на строительство и проходит предварительную проверку, все-таки в части учета тепловых мостиков она носит чисто формальный характер.

### **Введение в действие актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 с методикой расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволит улучшить ситуацию в практике проектирования теплозащиты ограждающих конструкций в России.**

#### Заключение

Представленный в актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволяет сопоставлять нормируемые показатели теплозащиты ограждающих конструкций со значениями, используемыми в европейских странах. Там нормируется величина  $U$ , определяемая по формуле (2) и не учитывающая влияние теплотехнических неоднородностей. В России нормируется приведенное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (1) и полностью учитывающее влияние теплотехнических неоднородностей. Нормирование сопротивления теплопередаче в России более полное, чем в Европе, поэтому некорректно сравнивать  $R_0^{\text{мп}}$  со значениями  $1/U$  для требуемых в Европе величин  $U$ .

Сравнение минимальных значений сопротивления теплопередаче в стандартах России и Германии показывает, что требования к указанной величине в России значительно выше.

Приведенный краткий обзор практического учета теплотехнических неоднородностей в странах Северной и Центральной Европы показал, что в большинстве стран учет теплотехнических неоднородностей производится по упрощенному методу, а выполнение данных расчетов на практике почти нигде не проверяется.

#### Литература

- СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Минрегион России, 2012.
- Гагарин В. Г., Козлов В. В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. // Строительные материалы. 2010. №12. С. 4 – 12.
- DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. August 1995.
- DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken. Juni 2001.
- Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. №8. С. 2-6.
- DIN 4108-2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003.
- СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». М., 2004.
- Citterio M., Cocco M., Erhorn-Kluttig H. Thermal bridges in the EPBD context: overview on MS approaches in regulations. // EPBD Buildings Platform. P64, 28-4-2008.
- DIN 4108 Beiblatt 2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Wärmebrücken. Planungs- und Ausführungsbeispiele. März 2006.
- Гагарин В. Г., Дмитриев К. А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах. // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 14-16. □