

УДК 697.1:536

НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПРИВЕДЁННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НЕПРОЗРАЧНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ НЕДОСТАТКИ

Р.О. ТОНКОВИД, И.А. ФИЛИПОВИЧ
(Представлено: В.А. Зафатаев)

Проанализированы нормативные методы теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций, предполагающие учёт тепловых потерь через теплотехнические неоднородности. Показано, что один из методов расчёта, применяемый при типовом проектировании, включает значительное количество неопределённостей при выборе нормативных величин удельных потерь через теплотехнически неоднородные элементы ограждающих конструкций. Также приводятся аспекты ограниченности применения других нормативных методов теплотехнического расчёта.

Введение. Тема настоящего исследования является актуальной ввиду наличия неопределённостей при использовании нормативных величин удельных потерь через теплотехнически неоднородные элементы ограждающих конструкций, принимаемых согласно "Каталогу удельных потерь теплоты (тепловых мостиков) теплотехнически неоднородных узлов ограждающих конструкций жилых и общественных зданий" при выполнении теплотехнического расчёта ограждающих конструкций.

В связи с тем, что наружная оболочка здания состоит из участков с различными сопротивлениями теплопередаче, теплотехнический расчёт ограждающей конструкции сводится к определению такой величины сопротивления теплопередаче, при которой тепловые потери фрагмента ограждения, отдельного этажа или всего здания будут соответствовать реальным теплопотерям. Эта величина получила наименование приведенного сопротивления теплопередаче – $R_{пр}$. Приведенное сопротивление теплопередаче – величина, равная сопротивлению теплопередаче такого однородного участка ограждения, тепловой поток через который равен тепловому потоку через рассматриваемое сложное ограждение. Эта величина нормируется для зданий различного назначения и для различных стадий их жизненного цикла, и составляет, например для жилых и общественных зданий на стадии их строительства, реконструкции и модернизации у наружных стен $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, у совмещенных покрытий, чердачных перекрытий и перекрытий над проездами – $6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ согласно СН 2.04.02-2020.

Согласно СП 2.04.01-2020 приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, рассчитывается по формуле:

$$R_{пр} = \frac{1}{\sum \frac{a_i}{R_{0i}} + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k + \sum n_m \chi_m} \quad (1)$$

где a_i – удельная площадь плоского участка конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

R_{0i} – сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной части конструкции i -го вида, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

l_j – удельная протяженность линейной теплотехнической неоднородности (далее – ТН) j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

ψ_j – удельные потери теплоты (коэффициент теплопередачи) линейной ТН j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

n_k – количество объемных ТН k -го вида, приходящихся на 1 м^2 ограждающей конструкции, шт./ м^2 ;

χ_k – удельные потери теплоты через объемные ТН k -го вида, $\text{Вт}/\text{°C}$;

n_m – количество точечных ТН m -го вида, приходящихся на 1 м^2 ограждающей конструкции, шт./ м^2 ;

χ_m – удельные потери теплоты (коэффициент теплопередачи) через точечные ТН m -го вида, $\text{Вт}/\text{°C}$;

Согласно СП 2.04.01-2020 теплотехнической неоднородностью (ТН) называют область ограждающей конструкции, характеризующуюся содержанием элементов с различными коэффициентами теплопроводности материалов и/или с переменной толщиной сечения, расположенных параллельно направлению теплового потока, и/или имеющих углы, примыкания смежных конструкций, проёмы, приводящие к искажению изолиний температуры по толщине конструкции. Линейной ТН называют протяженную теплотехническую неоднородность, длина которой не менее, чем в 3 раза превышает ее размеры одновременно по двум другим направлениям. Точечной ТН называют локальные теплопроводные включения. Объемной ТН называют примыкание нескольких локальных элементов ограждающей конструкции.

Линейными ТН в наружных стенах являются примыкания наружных стен к междуэтажной плите перекрытия, примыкание наружных стен к балконной плите (плите лоджии), примыкания наружных стен к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию, примыкания наружных стен к цокольной плите перекрытия, полам по грунту, откосы проемов наружных стен, а также углы наружных стен. Точечными ТН являются кронштейны вентилируемой фасадной системы (при её наличии) и анкерные устройства. В качестве объёмных ТН для наружных стен принимаются трёхмерные примыкания наружных стен к междуэтажной плите перекрытия, примыкание наружных стен к балконной плите (плите лоджии), примыкания наружных стен к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию, примыкания наружных стен к цокольной плите перекрытия, полам по грунту.

Сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной части конструкции i -го вида рассчитывается по формуле:

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_v} + R_x + \frac{1}{\alpha_n} \quad (2)$$

где α_v – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С);
 α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С);
 $R_x = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ – сумма термических сопротивлений теплопроводности n слоев ограждающей конструкции, м²°С/Вт, каждое из которых в отдельности равно $R_i = \delta_i / \lambda_i$; здесь δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя ограждающей конструкции в расчётных условиях эксплуатации, Вт/(м·°С).

Приведенное сопротивление теплопередаче **не**прозрачной теплотехнически **не**однородной ограждающей конструкции рассчитывают одним из трёх методов:

1. Упрощенным;
2. С применением справочных значений удельных потерь теплоты через th;
3. Детальным.

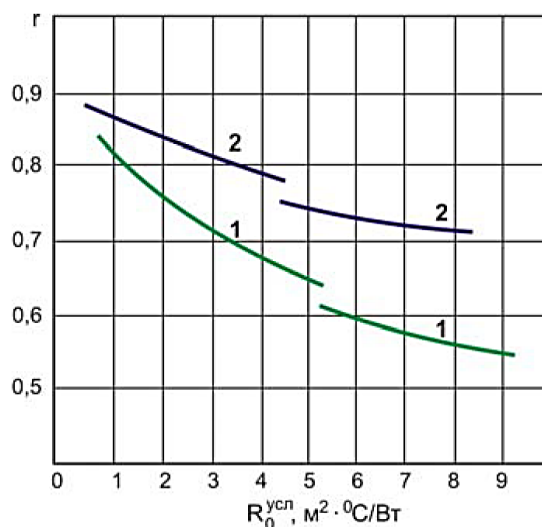
Согласно СП 2.04.01-2020 упрощенный метод расчета допускается использовать для предварительных технико-экономических расчетов на стадии разработки предпроектной прединвестиционной документации. Детальный метод применяют при проектировании зданий с использованием конструкций, отличных от указанных в "Каталоге удельных потерь теплоты (тепловых мостиков) теплотехнически неоднородных узлов ограждающих конструкций жилых и общественных зданий", разработанном Республиканским унитарным предприятием "Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С." (далее – каталог ТН) и зданий классов повышенной энергетической эффективности типа А+, что должно быть отражено в задании на проектирование. Таким образом, в типовых проектах жилых зданий наиболее часто будет находить применение второй из перечисленных методов теплотехнического расчёта.

Согласно п. 5.7.1 каталога ТН порядок расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций включает следующие этапы:

1. Анализ конструктивного решения ограждения, определение площади для контрольного значения приведенного сопротивления теплопередаче согласно заданию на проектирование.
 2. Предварительное назначение материала и толщины теплоизоляционного слоя.
 3. Определение по таблицам каталога значений удельных потерь теплоты через ТН конструкции.
 4. Расчёт геометрических параметров удельных потерь теплоты через ТН.
 5. Расчёт приведенного сопротивления теплопередаче, сравнение с нормативным значением.
- В случае его недостижения увеличение толщины теплоизоляционного слоя, повтор расчета до достижения значений норм.

Однако если следовать указаниям п. 5 при увеличении толщины утеплителя, несмотря на очевидное увеличение сопротивление теплопередаче по однородной глади R_0 конструкции, неизбежно возрастают длины линейных теплотехнических неоднородностей L_j , что при прочих равных условиях снижает величину приведённого сопротивления теплопередаче. Существенное влияние на его снижение оказывает воздействие оконных откосов, углов и узлов сопряжения. Также при повышении R_{0i} стены в результате усиливающегося теплового потока через теплопроводные включения, обусловленного применением более эффективного теплоизоляционного материала, $R_{пр}$ также снижается [1; 2].

$R_{пр}$ пропорционально R_0 , а коэффициентом пропорциональности является коэффициент теплотехнической однородности r . С ростом R_{0i} снижение r происходит гиперболически, и тем круче, чем лучше теплоизолирующие свойства утеплителя (рисунк 1).



1 – с пенополистирольными плитами $\lambda = 0,04 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{°C})$; 2 – с минераловатными плитами $\lambda = 0,08 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{°C})$
 Рисунок 1. – Зависимость коэффициента теплотехнической однородности r в трёхслойной железобетонной панели от условного сопротивления теплопередаче $R_0^{усл}$ *

Примечание – * условным авторы [1; 2] называют сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по однородной глади.

Из рисунка 1 видно, что увеличение сопротивления теплопередаче $R_0^{усл}$ от санитарно-гигиенического уровня 1,2–1,5 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (согласно исследованиям Российского общества инженеров строительства (РОИС) [3]) до уровня энергосбережений 3,2–4,2 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ снижает коэффициент теплотехнической однородности на 10–15%. Причем интенсивность изменения $R_0^{усл}$ зависит от вида утеплителя (кривые 1 и 2). Только при достаточно большой толщине слоя утеплителя с высокой воздухопроницаемостью (например, минераловатные плиты), обеспечивающей $R_0^{усл}$ не ниже 5 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ снижение величины r замедляется.

Таким образом, решение проблемы энергосбережения за счёт увеличения толщины утеплителя вступает в противоречие с долговечностью стен. С увеличением толщины теплоизоляционного слоя более 200 мм возникает необходимость, в целях сохранения прочности панели, установки дополнительных металлических связей или увеличения их диаметра при том же количестве. При этом при увеличенной толщине утеплителя в стенах существенно возрастают усадочные и температурно-влажностные деформации, что приводит к образованию трещин, разрывам контактных зон с конструкционными материалами [2]. Вместе с тем повышается объём влаги в стене и узлах сопряжений. Стены и узлы сопряжений, имеющие ориентацию на север, насыщенные металлом, могут не успеть войти в квазистационарное влажностное состояние в годовом цикле эксплуатации ввиду отсутствия прямого солнечного облучения. Систематическое накопление влаги приводит к ускоренному морозному разрушению, снижению срока службы наружных стен [2].

Также следует отметить, что в формулировках приведённого выше из п. 5.7.1 "Каталога..." порядка расчёта в оригинале содержатся синтаксические ошибки, а пункты 3 и 4 следовало бы поменять местами. Таким образом, порядок расчёта, на наш взгляд, должен быть сформулирован следующим образом:

1. Анализ конструктивного решения ограждающей конструкции, определение площадей по однородной глади контрольных фрагментов наружной стены здания;
2. Предварительное назначение материала тепловой изоляции и расчёт его толщины;
3. Расчет геометрических параметров ТН;
4. Определение по таблицам "каталога" значений удельных потерь теплоты через ТН;
5. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче, сравнение его с нормативным значением. В случае его недостижения – *выбор иных комбинаций материалов в ТН для достижения нормативных значений.*

Помимо неопределённостей с выбором порядка расчёта $R_{пр}$ и путей его достижения при использовании каталога ТН возникают дополнительные сложности:

1. Не все типы ограждающих конструкций представлены в каталоге ТН, например, отсутствуют сэндвич-панели, конструкции с положением утеплителя с внутренней стороны помещений.
2. В представленных в каталоге ТН конструкциях учтено только наличие конструктивного и теплоизоляционного слоёв (отделочные и защитные слои не моделируются).
3. Толщины слоёв δ_i утеплителя представлены ограниченным набором дискретных значений (больше 200 мм не приводится). Например, для совмещённых покрытий и чердачных перекрытий толщина

утеплителя по однородной глади конструкции по расчёту выходит, как правило, свыше 300 мм. Также представлены не все возможные толщины δ_i конструктивных слоёв. Допустимо ли в таких случаях применение интерполяции и экстраполяции табличных данных – в тексте каталога ТН не указано.

4. Представлен ограниченный набор величин теплопроводностей λ_i утеплителей, также не указано, для какого влажностного состояния конструкций они даны в каталоге, и соответствуют ли они значениям, указанным в СП 2.04.01-2020.

5. Сделаны обобщения величин удельных потерь ψ_j и χ_k по некоторым видам бетонов и газосиликатов.

Заключение. Упрощённый метод теплотехнического расчёта предполагает введение повышающих коэффициентов к сопротивлению конструкции по однородной глади, которые приводят к экономически и технически нецелесообразным толщинам утеплителя (при расчёте по двум другим методам толщина оказывается меньшей). При детальном методе расчёта необходимо производить компьютерное моделирование температурного поля в сложных трёхмерных узлах ограждающей конструкции, в которых присутствуют ТН всех видов, с нахождением распределения температур на внутренней и наружной поверхностях ограждения, коэффициентов теплоотдачи с последующим расчётом тепловых потоков – по однородной глади, и дополнительных – через неоднородные элементы. Моделирование температурных полей производится только в специализированных программных комплексах, например, Tempreg-3D, которые требуют соответствующей квалификации пользователя, и значительно (по сравнению с использованием каталога ТН) увеличивают временные и трудовые затраты при выполнении расчётов. Таким образом, доработка каталога ТН разработчиками с целью исключения представленных в настоящей статье неопределённостей, является актуальной и полезной для работников сферы строительства и архитектуры, занимающихся проектированием жилых и общественных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобов, О. И. Взгляд на энергосбережение сквозь стены / О. И. Лобов, А. И. Ананьев, Ю. Я. Кувшинов, С. А. Бегоулев // Строительный эксперт. – № 5 (168). – 2004.
2. Лобов, О. И. Теплозащитные свойства и долговечность фасадных систем современных зданий / О. И. Лобов, А. И. Ананьев, В. П. Абарыков, А. Е. Синютин // Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». Санкт-Петербург. – 2009. – С. 80–92.
3. Лобов, О. И. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям / О. И. Лобов, А. И. Ананьев, А. Г. Рымаров // Промышленное и гражданское строительство. – № 11. – 2016. – С. 67–71.