

УДК 697.1:536

ПРОБЛЕМЫ УЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ
НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В НОРМАТИВНЫХ
МЕТОДАХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

В.А. Зафатаев, Р.О. Тонковид, И.А. Филипович

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

e-mail: y.zafataev@psu.by, r.o.tonkovid@students.psu.by, i.a.filipovich@students.psu.by

Проанализированы нормативные методы теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций, предполагающие расчёт тепловых потерь через теплотехнические неоднородности конструкций. Показано, что один из методов расчёта, применяемый при типовом проектировании, включает значительное количество неопределённостей для расчёта величин удельных теплопотерь через теплотехнически неоднородные элементы. Также рассмотрены недостатки применения других нормативных методов теплотехнического расчёта ограждающих конструкций.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, теплотехнические неоднородности, приведённое сопротивление теплопередаче, теплотехнический расчёт.*

THE PROBLEMS OF ACCOUNTING THE HEAT LOSSES THROUGH THERMAL HETEROGENEITIES
OF EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES IN THERMAL CALCULATION REGULATORY METHODS

V. Zafatayeu, R. Tonkovid, I. Filipovich

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: y.zafataev@psu.by, r.o.tonkovid@students.psu.by, i.a.filipovich@students.psu.by

The article analyzes the regulatory methods of thermal calculation of external enclosing structures, which assume the calculation of heat losses through thermal inhomogeneities of structures. It is shown that one of the calculation methods, applied in typical design, includes a significant number of uncertainties for calculating the values of specific heat losses through thermally inhomogeneous elements. The disadvantages of using other thermal calculation regulatory methods of enclosing structures are also considered.

Keywords: *enclosing structures, thermal inhomogeneities, specified heat transfer resistance, thermal calculation.*

Введение. Тема настоящего исследования является актуальной ввиду наличия неопределённостей в расчётах величин удельных потерь через теплотехнически неоднородные элементы ограждающих конструкций.

Исследовательская часть. Поскольку наружные ограждающие конструкции здания состоят из участков с различными сопротивлениями теплопередаче, теплотехнический расчёт таких конструкций должен сводиться к определению некоторой сопоставительной физической величины, которая учитывала бы реальные тепловые потери любого, принятого в качестве однородного, элемента ограждения как тепловые потери сложного ограждения. Эта величина получила наименование приведенного сопротивления теплопередаче – $R_{пр}$.

Согласно СП 2.04.01-2020 приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$, м²·°C/Вт, рассчитывается по формуле:

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

где a_i – удельная площадь плоского участка конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м² ограждающей конструкции, м²/м²;

R_{0i} – сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной части конструкции i -го вида, м²·°С/Вт;

l_j – удельная протяженность линейной теплотехнической неоднородности (далее – ТН) j -го вида, приходящаяся на 1 м² ограждающей конструкции, м/м²;

ψ_j – удельные потери теплоты (коэффициент теплопередачи) линейной ТН j -го вида, Вт/(м·°С);

n_k – количество объемных ТН k -го вида, приходящихся на 1 м² ограждающей конструкции, шт./м²;

χ_k – удельные потери теплоты через объемные ТН k -го вида, Вт/°С;

n_m – количество точечных ТН m -го вида, приходящихся на 1 м² ограждающей конструкции, шт./м²;

χ_m – удельные потери теплоты (коэффициент теплопередачи) через точечные ТН m -го вида, Вт/°С;

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;
- углы наружных стен.

Точечными ТН являются:

- кронштейны вентилируемой фасадной системы (при её наличии);
- анкерные устройства.

Объемными ТН для наружных стен являются:

- 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.

Согласно СП 2.04.01-2020 приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции рассчитывается одним из трёх методов: упрощенным; с применением справочных значений удельных потерь теплоты через ТН; детальным.

Упрощенный метод расчета допускается использовать для предварительных технико-экономических расчетов на стадии разработки предпроектной прединвестиционной документации. Этот метод предполагает введение повышающих коэффициентов к термическому сопротивлению теплопередаче конструкции по однородной глади, которые дают в расчёте нецелесообразно большие толщины утеплителя (при расчёте по двум другим методам толщины оказываются меньшими).

Детальный метод теплотехнического расчёта 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. При использовании детального метода расчёта необходимо прибегать к компьютерному моделированию температурного поля в сложных узлах ограждающих конструкций, в которых присутствуют ТН, с целью нахождения распределения температур на внутренней и наружной поверхностях ограждения, величин коэффициентов теплоотдачи от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Результаты такого моделирования в дальнейшем используются для расчёта тепловых потоков – по однородной глади конструкции и через её неоднородные элементы. Моделирование температурных полей производится в специализированных программных комплексах, например, Temper-3D, которые требуют соответствующей квалификации специалиста, что значительно (по сравнению с использованием каталога ТН) увеличивает временные и трудовые затраты.

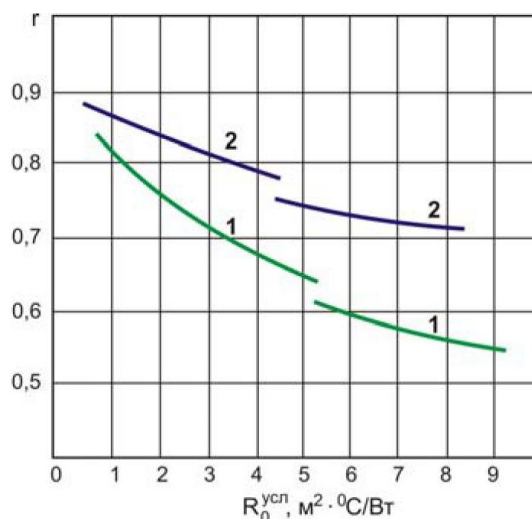
При типовом проектировании жилых зданий наиболее часто применяется второй из вышеперечисленных методов теплотехнического расчёта.

Согласно п. 5.7.1 каталога ТН расчёт приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций должен производиться в следующей последовательности:

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.

Вызывает сомнение целесообразность выполнения указаний п. 5, поскольку при увеличении толщины утеплителя, несмотря на очевидное увеличение сопротивления теплопередаче по однородной глади R_{0i} конструкции, неизбежно возрастают длины линейных ТН L_j , что при прочих неизменных условиях снижает величину приведённого сопротивления теплопередаче. Существенно снижают величину приведённого сопротивления теплопередаче оконные откосы, углы наружных стен и узлы сопряжения конструкций с отличающимися теплотехническими показателями. Кроме того, при повышении R_{0i} за счёт увеличения толщины утеплителя в результате усиливающегося теплового потока через теплопроводные включения ввиду увеличения их диаметра и количества, приходящегося на 1 м^2 , приведённое сопротивление теплопередаче конструкции $R_{пр}$ также снижается.

Приведённое сопротивление теплопередаче $R_{пр}$ пропорционально сопротивлению теплопередаче по однородной глади R_0 , а коэффициентом пропорциональности между ними является коэффициент теплотехнической однородности r . С ростом R_{0i} снижение r происходит гиперболически, и тем круче, чем лучше теплоизолирующие свойства утеплителя (рисунок 1).



1 – с пенополистирольными плитами $\lambda = 0,04$ Вт/(м·°C); 2 – с минераловатными плитами $\lambda = 0,08$ Вт/(м·°C)
 (* условным авторы [1], [2] называют сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по однородной глади R_{0i})

Рисунок 1. – Зависимость коэффициента теплотехнической однородности r в трёхслойной железобетонной панели от условного сопротивления теплопередаче $R_0^{усл}$ *

Из рисунка 1 видно, что увеличение сопротивления теплопередаче $R_0^{усл}$ до уровня действующих нормативов 3,2–6,0 м²·°C/Вт снижает коэффициент теплотехнической однородности, и, соответственно, приведённое сопротивление теплопередаче, на 10–25%. Причем снижение $R_{пр}$ происходит быстрее при использовании эффективных утеплителей (кривая 1). Только при достаточно большой толщине слоя эффективного утеплителя, обеспечивающей $R_0^{усл}$ не ниже 5 м²·°C/Вт, снижение величины r замедляется.

Следует отметить, что в формулировках нормативного порядка расчёта приведённого сопротивления теплопередаче в оригинале содержатся синтаксические ошибки, а пункты 3 и 4 следовало бы поменять местами. Таким образом, порядок расчёта приведённого сопротивления теплопередаче, 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) расчёт геометрических параметров ТН;
- 4) определение по таблицам каталога ТН значений удельных потерь теплоты через ТН;
- 5) расчет приведенного сопротивления теплопередаче, сравнение его с нормативным значением. В случае недостижения нормативного значения следует выбрать другие комбинации материалов в ТН и повторить расчёт, начиная с п. 4.

К снижению расчётной величины приведённого сопротивления теплопередаче $R_{пр}$ также приводит изначально неверный выбор расчётной площади ограждающей конструкции, для которой будет определяться величина $R_{пр}$. Согласно п. 5.7.2 каталога ТН при отсутствии в задании на проектирование ограничений по площади ограждающей конструкции, значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{пр}$ определяется для всей ограждающей кон-

струкции. Однако, если в качестве расчётной принять площадь наружных стен одного помещения (что не противоречит действующим нормативным требованиям), например, углового помещения верхнего этажа здания, то количество объёмных N_k и точечных N_m теплотехнических неоднородностей, содержащихся на этом фрагменте конструкции, а также удельная длина l_j линейных ТН будет больше, чем в случае, если в качестве расчётной площади принять суммарную площадь всех наружных стен здания. Очевидно, что в таком случае расчётное значение $R_{пр}$ получится заведомо ниже для наружных стен отдельного помещения (и тем ниже, чем большее количество ТН будет в такой конструкции). При этом не удивительно, что согласно теплотехническому расчёту, отдельные фрагменты наружных стен здания должны будут иметь разный уровень утепления. В то же время принимая в качестве расчётной площадь всех наружных стен здания по однородной глади, расчётное значение приведённого сопротивления теплопередаче $R_{пр}$ получается обобщённым по зданию, более точно соответствующим своей величиной сопротивлению теплопередаче центральной части здания, тогда как стены угловых помещений и помещений крайних этажей будут иметь приведённое сопротивление меньшее, чем обобщённое по зданию, т.е. с величиной, меньшей нормативной, даже если обобщённое сопротивление его по расчёту достигает. Институт жилища НИПТИС им. Атаева является обладателем патента на утепляющую оболочку здания, которая позволяет обеспечить одинаковый уровень тепловых потерь во всех частях здания. Согласно патенту, в местах наибольших теплотерь (т.е. в местах наибольшего сосредоточения ТН) слой утеплителя должен иметь большую толщину, чем в средней части здания (таблица 1).

Таблица 1. – Толщина слоя утеплителя δ в наружных стенах для различных помещений здания

Наименование помещения	$R_{пр}, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	$\delta, \text{м}$
Середина фасада (эталонное помещение)	2	0,04
Торцевое помещение	4,6	0,17
Угловая комната верхнего этажа	6,7	0,28
Угловая комната первого этажа	6,6	0,27
Перекрытие над верхним этажом	12	0,57
Перекрытие над подвалом	10	0,47

Здесь снова следует констатировать, что увеличение толщины утеплителя в отдельных частях здания (например, в угловых помещениях) приведёт к снижению величины приведённого сопротивления теплопередаче конструкции $R_{пр}$ в результате возросшего теплового потока через теплопроводные включения, диаметр и количество которых, приходящихся на 1 м² плоской однородной части конструкции, неминуемо увеличится с точки зрения обеспечения конструктивной прочности теплоизоляционной конструкции.

Помимо описанных выше 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, не представлены удельные потери по ТН в сэндвич-панелях, также отсутствуют конструкции с устройством слоя утеплителя с внутренней стороны помещений.

2. В представленных в каталоге ТН конструкциях учтены только конструктивный и теплоизоляционный слои (отделочные и защитные слои не моделировались, по всей видимости по причине незначительного их влияния на теплотехнические показатели конструкции, однако обоснований к такому упрощению в каталоге ТН не приведено).

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 согласно расчёту достига-

ет, как правило, значений 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 каталоге 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. Например, коэффициенты теплопроводности λ , определенные по ГОСТ 7076, для минераловатных и пенополистирольных плит следует увеличивать для невентилируемых конструкций на 30% [2]. Необходимость повышения λ вызвана тем, что начиная с 1995 г. их расчетные значения стали принимать по результатам лабораторных испытаний на образцах размером 250×250×50 мм при температуре 25°C без учета влияния замерзшей влаги, фильтрации воздуха и качества работ при возведении стен и изготовлении панелей. Поэтому они стали в лучшую сторону отличаться от значений λ , полученных для аналогичных утеплителей по ГОСТ 26254 в натуральных условиях в панелях стен при отрицательной температуре наружного воздуха.

5. Сделаны обобщения величин удельных потерь в линейных ψ_j и объёмных χ_k ТН по некоторым видам бетонов и газосиликатов.

Заключение. 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.