

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Ч. 1. ЕВРОПЕЙСКИЙ ПОДХОД И МЕТОД РАСЧЕТА

А. С. Горшков, канд. техн. наук, директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Ключевые слова: здания, проектирование, теплоизоляция, тепловая защита, нормативные требования, методы расчета, энергосбережение, энергоэффективность

В России и странах Евросоюза существуют принципиальные отличия как в правилах нормирования теплозащитной оболочки зданий, так и в методах расчета и проектирования. Для более детального обзора принятых подходов рассмотрим сравнение методов расчета строительных конструкций и нормирования требований к ним по теплоизоляции, принятых в Финляндии¹ и России.

¹ Финляндия выбрана потому, что на большей части территории данной страны климатологические показатели (продолжительность отопительного периода и температуры наружного воздуха в отопительный период) совпадают с аналогичными показателями, характерными для Москвы.

Потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции здания (так называемые трансмиссионные потери тепловой энергии) составляют существенную долю в структуре затрат тепловой энергии на его отопление и напрямую зависят от уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций. В странах Европы введены обязательные нормативные требования к уровню теплоизоляции (в терминах



стандарта, принятого на территории Российской Федерации, – к приведенному сопротивлению теплопередаче) наружных ограждающих конструкций, которые отличаются в зависимости от климатических условий страны и ее государственной политики в области энергосбережения.

В связи с постоянным ростом цен на энергетические ресурсы, а также сокращением невозобновляемых ресурсов (нефти, газа) в большинстве развитых стран мира нормы потребления зданиями энергии постоянно уменьшаются, а требования к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций – повышаются.

Европейский подход к нормированию требований по теплоизоляции

В западноевропейских странах при выборе требуемого уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций нормируется не требуемое сопротивление теплопередаче, как это принято в России, а максимально допустимое значение коэффициента теплопередачи $U_{i(max)}$. Рассмотрим европейский подход к нормированию требований по теплоизоляции на примере Финляндии.

Для Финляндии максимально допустимые значения коэффициентов теплопередачи $U_{i(max)}$ применительно к различным наружным ограждающим конструкциям зданий, отопли-

Таблица 1 Максимально допустимые значения коэффициента теплопередачи для различных наружных ограждающих конструкций

Тип ограждающей конструкции	Максимально допустимое значение коэффициента теплопередачи $U_{i(max)}$, Вт/(м ² •К)
Наружная стена	0,17
Покрытие, чердачное перекрытие	0,09
Нижнее перекрытие	0,17/0,16
Окно в наружной стене, окно мансардное, наружная дверь	1,00

ваемых в полном объеме в течение отопительного периода (согласно требованиям п. 2.5.4 стандарта Финляндии [1]), приведены в табл. 1. При проектировании наружных ограждающих конструкций задачей проектной организации является выбор наружного ограждения, коэффициент теплопередачи которого U_i должен быть ниже максимально допустимого значения (табл. 1).

Стимул к поиску новых решений

Следует отметить, что в Финляндии нормативы по теплоизоляции наружных ограждений зданий возрастали постепенно (табл. 2, [2]). Такое ужесточение требований к уровню теплоизоляции наружной оболочки зданий стимулирует внедрение энергосберегающих разработок. До тех пор, пока нормативные требования остаются неизменными, инновации, как правило, применяются выборочно (в основном для уникальных и представительских объектов), т. к.

традиционные материалы, технологии и технические решения в полной мере соответствуют старым стандартам. Повышение требований к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций приводит к поиску новых технических и конструктивных решений, к совершенствованию и разработке новых материалов и изделий.

Определение теплотехнических характеристик

Важными условиями при проектировании зданий в Финляндии являются, во-первых, определение суммарных трансмиссионных потерь и, во-вторых, обеспечение требуемого расхода энергетических ресурсов. Согласно [1], суммарные трансмиссионные потери тепловой энергии (потери тепла через оболочку) в здании $H_{тр}$ рассчитываются по формуле (1) (см. Формулы). Нормы расхода тепловой энергии на отопление и суммарного энергопотребления зданий приведены в табл. 3.

Таблица 2 Изменение требований к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций в Финляндии [2]

Строительная конструкция	Значения коэффициентов теплопередачи строительных конструкций и их изменение по годам					
	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Наружные стены	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Верхнее перекрытие	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Нижнее перекрытие	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,17/0,16
Окна	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Нумерация формулы в тексте	Формула	Источник формулы
(1)	$\sum H_{\text{тр}} = \sum(U_{\text{ст}} \cdot A_{\text{ст}}) + \sum(U_{\text{в.перекр.}} \cdot A_{\text{в.перекр.}}) + \sum(U_{\text{н.перекр.}} \cdot A_{\text{н.перекр.}}) + \sum(U_{\text{ок}} \cdot A_{\text{ок}}) + \sum(U_{\text{дв}} \cdot A_{\text{дв}})$	[1]
(2)	$R_{\text{T}} = R_{\text{си}} + R_{\text{1}} + R_{\text{2}} + \dots + R_{\text{n}} + R_{\text{се}}$	ISO 6946
(3)	$U = 1 / R_{\text{T}}$	ISO 6946
(4)	$U_{\text{с}} = U + \Delta U$	ISO 6946
(5)	$\Delta U = \Delta U_{\text{г}} + \Delta U_{\text{f}} + \Delta U_{\text{r}}$	ISO 6946
(6)	$H_{\text{д}} = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j X_j$	ISO 13789
(7)	$H_{\text{тр}} = H_{\text{д}} + H_{\text{г}} + H_{\text{у}} + H_{\text{adj}}$	ISO 13789

Обозначения в формулах

$H_{\text{тр}}$ - суммарные трансмиссионные потери тепловой энергии (потери тепла через оболочку) в здании, Вт/К

$U_{\text{ст}}, U_{\text{в.перекр.}}, U_{\text{н.перекр.}}, U_{\text{ок}}, U_{\text{дв}}$ - проектные значения коэффициентов теплопередачи соответственно наружных стен, верхнего перекрытия (покрытия, чердачного перекрытия с холодным чердаком), нижнего перекрытия (полов по грунту, перекрытий над неотапливаемым подвалом, перекрытий над проветриваемым подпольем), окон, наружных дверей здания, Вт/(м²•К)

$A_{\text{ст}}, A_{\text{в.перекр.}}, A_{\text{н.перекр.}}, A_{\text{ок}}, A_{\text{дв}}$ - численные значения площадей наружных ограждающих конструкций отапливаемого объема здания, м²

R_{T} - общее сопротивление теплопередаче плоской ограждающей конструкции, м²•К/Вт

$R_{\text{си}}$ - сопротивление теплообмену внутренней поверхности, м²•К/Вт

$R_{\text{1}}, R_{\text{2}}, R_{\text{n}}$ - термическое сопротивление каждого слоя, м²•К/Вт

$R_{\text{се}}$ - сопротивление теплообмену наружной поверхности, м²•К/Вт

U - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²•К)

$U_{\text{с}}$ - откорректированное значение коэффициента теплопередачи, Вт/(м²•К)

ΔU - суммарная коррекция, Вт/(м²•К)

$\Delta U_{\text{г}}$ - коррекция на наличие воздушных пустот, Вт/(м²•К)

ΔU_{f} - коррекция на наличие механических крепежных деталей, Вт/(м²•К)

ΔU_{r} - коррекция влияния осадков на теплотехнические параметры инверсионных кровель, Вт/(м²•К). Параметры коррекции $\Delta U_{\text{г}}, \Delta U_{\text{f}}, \Delta U_{\text{r}}$ рассчитываются по Приложению D стандарта ISO 6946

A_i - площадь i-го элемента ограждающих конструкций здания, м² (размеры окон и дверей принимаются равными размерам проемов в стене)

U_i - коэффициент теплопередачи i-го элемента ограждающих конструкций здания, Вт/(м²•К); рассчитывается по методике стандарта ISO 6946

l_k - длина линейного теплового моста k-го типа, м

ψ_k - линейный коэффициент теплопередачи k-го линейного теплового моста, Вт/(м•К)

X_j - точечный коэффициент теплопередачи j-го точечного теплового моста, Вт/К

$H_{\text{д}}$ - общий трансмиссионный коэффициент теплопередачи через ограждающие конструкции между кондиционируемым пространством и наружной средой, Вт/К

$H_{\text{г}}$ - трансмиссионный коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом, Вт/К

$H_{\text{у}}$ - трансмиссионный коэффициент теплопередачи через некондиционируемые пространства, Вт/К

H_{adj} - трансмиссионный коэффициент теплопередачи через соседние здания, Вт/К

При определении расчетных значений теплотехнических характеристик ограждающих конструкций в странах ЕС используют следующие стандарты:

- при определении расчетных значений коэффициентов теплопередачи (U-value) – ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method (далее – ISO 6946);

- при определении расчетного значения трансмиссионного коэффициента теплопередачи ($H_{\text{д}}$) – ISO 13789 Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method (далее – ISO 13789).

Расчет по стандарту ISO 6946

Стандарт ISO 6946 описывает правила проектирования и расчета уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, похожие на те, что были приняты ранее в Советском Союзе [3].

Общее сопротивление теплопередаче R_{T} плоской ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, рассчитывается по формуле (2). Аналогичным образом сопротивление теплопередаче рассчитывалось в нашей стране по стандартам СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» и СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Общее сопротивление теплопередаче R_{T} ограждающей конструкции, состоящей из термически однородных и неоднородных слоев, параллельных поверхности ограждающей конструкции, в стандарте ISO 6946 рассчитывается более сложным образом, но близко к методике, изложенной в СНиП II-3-79*.

Величина коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле (3). На этом расчет не заканчивается. Численные значения коэффициента теплопередачи, рассчитанные по формуле (3), должны быть откорректированы по формуле (4) с учетом:

Таблица 3 Нормы потребляемой энергии для различных типов зданий [2]

	Тип здания			
	Стандартное здание	Здание с низким потреблением энергии	Энергопассивное здание	Здание с энергозатратами, близкими к нулевым
Расход энергии на отопление, кВт•ч/год				
Жилой сектор	100*/32**	50*/16**	20*/7**	15*/5**
Офисные помещения	90*/29**	45*/14**	15*/5**	9*/3**
Общий расход энергии, кВт•ч/год				
Жилой сектор	200*/64**	140*/45**	80*/26**	20*/6**
Офисные помещения	140*/45**	85*/27**	45*/15**	14*/4**
* Расход энергии на 1 м ² площади. ** Расход энергии на 1 м ³ объема.				

- наличия воздушных пустот в теплоизоляции;
- наличия механических крепежных деталей;
- влияния осадков на теплотехнические параметры инверсионных кровель.

Суммарная коррекция ΔU рассчитывается по формуле (5).

Определение толщины слоя теплоизоляции

Откорректированное значение коэффициента теплопередачи U_c сравнивается с нормативным значением данного параметра, которое в европейских странах регулируется на законодательном уровне. Для Финляндии нормируемые (максимально допустимые) значения коэффициентов теплопередачи приведены в табл. 1.

На основании сравнения нормативного и расчетного значений коэффициента теплопередачи определяется требуемая толщина слоя теплоизоляции в составе ограждающей конструкции.

Трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания

Трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания H_d через ограждающие конструкции, отделяющие кондиционируемые помещения от внешней среды, рассчитывается либо непосредственно численными методами на основе расчета тем-

пературных полей в соответствии с требованиями стандарта ISO 10211 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surfaces temperatures – Detail calculations (далее – ISO 10211), либо по формуле (6). Суммирование производится по всем строительным конструкциям, отделяющим внутреннюю среду здания от внешней среды. Таким образом учитываются не только потери тепловой энергии по глади рассматриваемой ограждающей конструкции, но и потери через теплопроводные включения.

В заключение по формуле (7) рассчитывается трансмиссионный коэффициент теплопередачи всего здания.

Таким образом, в Европейском союзе принят подход, согласно которому выбор толщины слоя теплоизоляции в составе наружных ограждающих конструкций определяется по простым аналитическим формулам, не требующим специальных методов математического моделирования или прикладных программ.

При расчете трансмиссионного коэффициента теплопередачи через наружные ограждения по формуле (6) учитываются потери тепла как по глади наружных ограждающих конструкций, так и через теплопроводные включения. При расчете трансмиссионного коэффициента теплопередачи всего здания к поте-

рям через ограждения добавляются потери тепла через конструкции, контактирующие с грунтом, и при необходимости через соседние здания, температура внутреннего воздуха в которых может отличаться от температуры воздуха в проектируемом здании.

Методика расчета коэффициента теплопередачи через ограждающие конструкции, контактирующие с грунтом H_g , представлена в стандарте ISO 13370 Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods.

О подходе к нормированию требований по теплоизоляции жилых зданий, принятому в Российской Федерации, а также о сравнении европейского и российского подходов читайте в следующем номере журнала «Энергосбережение».

Литература

1. National Building Code of Finland. Part D3.
2. Сормунен П. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1.
3. Горшков А. С., Ливчак В. И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3. ■