

Факторы, влияющие на термическое сопротивление сталебетонных теплогидроизоляционных материалов

Гапонова Л.В., Ромашико А.В., Гранкина В.В., Харьковская национальная академия городского хозяйства

Основным направлением повышения эффективности конструкций является разработка легких теплогидроизоляционных материалов. Применение таких материалов в конструкциях позволит весьма существенно сэкономить тепловую энергию. В настоящее время широкое распространение получили сталебетонные плиты покрытий и перекрытий промышленных и гражданских зданий. Вопросы термоустойчивости таких плит исследованы недостаточно. На термическое сопротивление конструкции влияют следующие характеристики: геометрические, отражающие размеры и форму элементов конструкции; физические и механические характеристики материалов (теплопроводность, коэффициент теплопроводности); граничные условия, отражающие характер взаимодействия с окружающей средой.

Существенным фактором, влияющим на термическое сопротивление ограждающей конструкции, является её форма, взаимное расположение пустот, направление теплового потока. Площадь поперечного сечения пустот составляет примерно 50% площади поперечного сечения плиты, что создаёт внутри конструкции достаточно большие заполненные воздухом пространства, которые можно классифицировать как замкнутые воздушные прослойки. Особенностью этих элементов является то, что теплообмен в них осуществляется как при помощи теплопроводности, так и при помощи конвекции. Учёт конвективной составляющей является весьма сложной и трудоёмкой задачей, поэтому нами предложено рассматривать конвективный теплообмен в замкнутом пространстве пустот строительных конструкций как элементарное явление теплопроводности, вводя при этом понятие эквивалентной теплопроводности:

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток через прослойку, Вт; δ – толщина прослойки, м; F – площадь конструкции, перпендикулярная тепловому потоку, м²; Δt – разность температур на внутренних поверхностях прослойки, °С.

Поскольку интенсивность циркуляции воздуха в пустотах является функцией разности плотностей нагретой и охлажденной среды и определяется критериями Gr (Грасгофа), Pr (Прандтля), то для коэффициента конвекции, характеризующего влияние конвективной со-

ставляющей в процессе теплообмена в замкнутом пространстве справедливо следующее критериальное уравнение

$$\varepsilon_{\kappa} = f(Gr, Pr). \quad (2)$$

В качестве определяющей температуры принимается средняя температура жидкости на нагреваемой и охлаждаемой частях внутренней поверхности пустот $t_{жс} = 0,5 \cdot (t_{c1} + t_{c2})$, за определяющий размер принимается диаметр пустоты δ .

При малых значениях аргумента $Gr_{жс} \cdot Pr_{жс} < 1000$, $\varepsilon_{\kappa} = 1$ теплопередача от горячей к холодной стенке передаётся только теплопроводностью.

При значениях $10^3 < Gr_{жс} \cdot Pr_{жс} < 10^6$

$$\varepsilon_{\kappa} = 0,105 \cdot (Gr_{жс} \cdot Pr_{жс})^{0,3}; \quad (3)$$

при значениях $10^6 < Gr_{жс} \cdot Pr_{жс} < 10^{10}$

$$\varepsilon_{\kappa} = 0,40 \cdot (Gr_{жс} \cdot Pr_{жс})^{0,2}. \quad (4)$$

Рассмотрим сталебетонную плиту перекрытия, сочетающую в себе функции несущей и теплоизолирующей конструкции. Плита включает многпустотную пенобетонную плиту, армированную стальной мембраной, расположенной в нижнем поясе плиты. Толщина слоя пенобетона выбрана из условия достижения нормативного значения термического сопротивления перекрытия: $R_{прив} = R_{норм} = 2,5$ (м² К)/Вт.

Расчет цепи тепловых сопротивлений показывает, что приведенное термическое сопротивление теплопередаче пустотелой железобетонной плиты $R_{аб} = 0,407$ (м² К)/Вт, что в 6 раз меньше предложенной сталебетонной плиты $R_{аб} = 2,5$ (м² К)/Вт.

Результаты расчёта сталебетонной плиты позволяют сделать вывод о гораздо более равномерном распределении температур по толщине перекрытия (таблица). При этом нормативное термическое сопротивление достигается при толщине перекрытия 0,28 м по сравнению с 0,55 м для бетонной плиты с утеплителем.

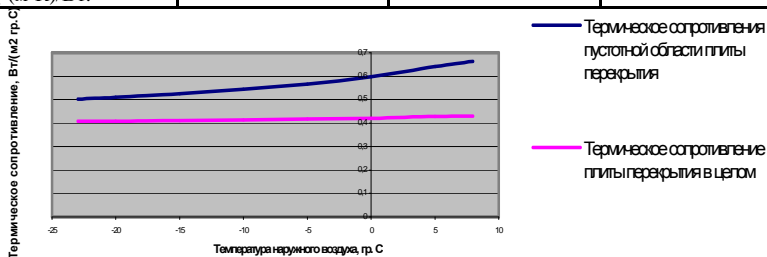
Рассмотрены процессы изменения термического сопротивления многпустотных ограждающих конструкций под действием внешних климатических факторов, происходящие в многпустотной плите перекрытия при изменении температуры наружного воздуха в пределах от +8⁰С (начало отопительного сезона) до -23⁰С (расчётная отопительная температура для северо-востока Украины). Для стандартной плиты перекрытия из тяжёлого железобетона ($\lambda = 1,74$ Вт/(м²·°С)) с диаметром пустот $\delta = 0,12$ м термическое сопротивление в зоне воздушной прослойки изменялось в пределах от 0,664 до 0,503 (м²·°С)/Вт, то есть, при снижении температуры от + 8⁰С до -23⁰С, снижение составило

24%. Осреднённое термическое сопротивление плиты снизилось с 0,431 до 0,407 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, что составило 5,5%. Характер изменения термических сопротивлений приведен на рисунке.

Установленная зависимость термического сопротивления от многопустотных конструкций температуры наружного воздуха позволяет

Сравнительная характеристика – данные расчётов

Конструктивные характеристики			
	Плита перекрытия из тяжёлого бетона $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_1 = 1,74 \text{ Вт/(м К)}$, утеплитель керамзитобетон $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{ут}} = 0,17 \text{ Вт/(м К)}$,	Плита перекрытия сталебетонная, материал – пенобетон $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{ут}} = 0,17 \text{ Вт/(м К)}$,	Плита перекрытия сталебетонная, материал пенобетон $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{ут}} = 0,11 \text{ Вт/(м К)}$,
общая толщина плиты	0,53	0,40	0,28
Диаметр пустот, D , м с шагом 0,2 м.	0,12	0,12	0,12
Усредненная плотность покрытия кг/м^3	1217	536	353
Соотношение тепловых потоков в зонах «а» и «b» q_a/q_b (%)	52,5/47,5	46,8/53,2	43,4/56,6
Термическое сопротивление теплопередаче в зонах «а» и «b» R_a/R_b	2,23/2,8	2,5/2,497	2,7/2,35
Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , ($\text{м}^2 \cdot \text{K}$)/Вт.	2,5	2,5	2,5



Зависимость термического сопротивления многопустотной плиты от температуры наружного воздуха

скорректировать теплопроизводительность системы отопления с учетом дополнительно возникающих теплопотерь.