

УПРОЩЕНИЕ ФОРМУЛ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Исаев В.Ф., к.т.н., доц., Прусенков Н.А., к.т.н., доц.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Обеспечение заданной температуры воздуха внутри помещения (t_b , °C) при соответствующей для наружного воздуха (t_n , °C) - одна из основных задач теплотехнического расчета ограждающих конструкций:

$$\sum Q_{огр} = kxFx\Delta t_x(1+\beta)xn = kxFx(t_b-t_n)x(1+\beta)xn = (Fx(t_b-t_n)x(1+\beta)xn)/\sum R_{огр}, \text{ вт} \quad (1)$$

где: $\sum Q_{огр}$, вт – потери мощности тепловым потоком при переходе ограждения; k , вт/(м²х°С) – коэф-фициент теплопередачи ограждающей конструкции; F , м² – площадь поверхности ограждения; $\Delta t=t_b-t_n$, °С – изменения температуры воздуха в потоке;

$(1+\beta)xn$, б.р. – расчетные поправки конструктивных решений (для упрощения формул условно принято, что $(1+\beta)xn=1$, исключая эти величины из анализа);

$\sum R_{огр}=1/k$, (м²х°С)/вт – полное термическое сопротивление ограждения или слоя материала ограждения ($\sum R_x$ - величина, обратная коэффиценту теплопередачи).

Из формулы (1) следуют направления уменьшения потерь при переходе тепла:

- 1.– конструктивное – увеличение термического сопротивления потоку.
- 2.– эксплуатационное – регулирование потерь энергии внешними силами.

Предложения по упрощению расчетных зависимостей, расширение арсенала средств и способов регулирования режима эксплуатации ограждающих конструкций, в рамках указанных направлений, использующих наиболее экономичные и технологичные пути снижения затрат на обеспечение задаваемых параметров, следует рассматривать основными целями данной публикации.

Пример многочисленных и многократно реализованных вариантов первого направления – увеличение числа слоев ограждающей конструкции с подбором или регулированием их характеристик, обеспечивающих заданный режим:

$$\Delta t = t_b - t_n = \sum \Delta t_{\text{мат}} + \sum \Delta t_3 + \sum \Delta t_{\text{обл}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \dots(2)$$

где: $\sum \Delta t_{\text{мат}}$, $\sum \Delta t_3$ и $\sum \Delta t_{\text{обл}}$ – изменения температур в соответствующих слоях (основного материала, утепляющей прослойки и наружной облицовки) ограждающей конструкции с учетом потерь теплоперевода на наружных и внутренних поверхностях. В реальных конструкциях слоев может быть значительно больше, чем указанные в формулах (1) и (2) три слоя. В ограждениях, исключая перенос энергии вместе со средой (из «замкнутых» слоев), обмен ею соответствует закону Фурье, с учетом теплоперевода на наружной и внутренней поверхностях.

При расчете затрат на переход тепла через конструкцию многослойного ограждения из «замкнутых» слоев методика предусматривает определение потерь энергии ($\sum Q_x$), изменений температуры ($\sum \Delta t_x$) и термического сопротивления ($\sum R_x$) отдельно для каждого слоя – суперпозиционно, с последующим их сложением. Упрощение расчетных формул обеспечивается адекватной заменой мощности потока на поверхностную плотность этого потока: $\sum q_x = \sum Q_x / F$, вт/м²:

$$\sum q_{огр} = \sum q_{\text{мат}} + \sum q_3 + \sum q_{\text{обл}} + \dots + \sum q_x = \Delta t / \sum R_{огр}, \text{ вт/м}^2. \quad (3)$$

В приведенных формулах (1) – (3) теплотехнический расчет предусматривает послойное суммирование, пропорционально перепаду температур:

а) термических сопротивлений слоев материала $R_x = \delta_x / \lambda_x$, где: δ_x , м – толщина слоя; λ_x , Вт/(м·°C) – коэффициент теплопроводности материала этого слоя;

б) термических сопротивлений теплопереходу внутренним и наружным поверхностям «замкнутых» материалов: $R_{вх} + R_{нх} = 1/\alpha_v + 1/\alpha_n$, (м²·°C)/Вт.

В соответствии с принципами суперпозиционирования для ‘замкнутых’ слоев материалов при теплообмене через ограждающие конструкции:

- каждый «замкнутый» слой характеризуется собственными полными термическим сопротивлением ($\sum R_x$), суммарным перепадом температур ($\sum \Delta t_x$), а так же полными и удельными потерями энергии ($\sum Q_x$ и $\sum q_x$), при $F = \text{const}$;

- в каждом «замкнутом» слое ограждающей конструкции полное термическое сопротивление складывается из сопротивления материала этого слоя ($R_x = \delta_x / \lambda_x$) и долей термического сопротивления теплопереходу его наружной и внутренней поверхностей ($R_{вх} + R_{нх}$), пропорциональных изменению термических сопротивлений ограждения ($R_v + R_n$) и температуры в нем (Δt_x) относительно (обратно пропорционально) перепаду температур (Δt):

$$\sum R_x = \sum (R_x + (R_{вх} + R_{нх})) = \sum \delta_x / \lambda_x + \sum ((R_v + R_n) \times \Delta t_x / \Delta t), \text{ (м}^2\text{·°C)/Вт.} \quad (4)$$

Подставляя в систему (формула (3)) для уравнения определения полного термического сопротивления ограждения ($\sum R_{огр}$) результаты анализа процесса теплообмена с окружающей средой через многослойное ограждение, с учетом, что $\sum (\sum \Delta t_x / \Delta t) = 1$, получаем закономерность изменения сопротивления теплообмену ограждения:

$$\sum R_{огр} = \sum \delta_x / \lambda_x + R_v + R_n, \text{ (м}^2\text{·°C)/Вт.} \quad (5)$$

Например: для трехслойной ограждающей конструкции формула (5) принимает вид:

$$\sum R_{огр} = R_{мат} + R_3 + R_{обл} + R_v + R_n, \text{ (м}^2\text{·°C)/Вт.} \quad (6)$$

Заслуживает внимания аналогичное преобразование всех уравнений, входящих в систему:

$$\begin{aligned} \sum Q_{огр} &= \sum Q_x + (Q_v + Q_n) = Q_{мат} + Q_{впз} + Q_{обл} + (Q_v + Q_n), \text{ Вт;} \\ \sum q_{огр} &= \sum Q_{огр} / F = \Delta t / \sum R_{огр} = q_{мат} + q_{впз} + q_{обл} + (q_v + q_n), \text{ Вт/м}^2; \\ \Delta t &= t_v - t_n = \sum \Delta t_x + (\Delta t_v + \Delta t_n) = \Delta t_{мат} + \Delta t_{впз} + \Delta t_{обл} + (\Delta t_v + \Delta t_n), \text{ °C;} \\ \sum R_{огр} &= \sum R_x + (R_v + R_n) = R_{мат} + R_{впз} + R_{обл} + (R_v + R_n), \text{ (м}^2\text{·°C)/Вт.} \end{aligned} \quad (7)$$

Выводы

Полученный вид системы, описывающей теплотехнические характеристики при переходе энергии через многослойные ограждения, весьма удобен для продолжения исследований в «подвижных» («жидкой» и «газовой») средах. Однако, для ограждений из этих материалов, уместно считать, что вся поступающая в «подвижном» слое энергия взаимодействует с температурным полем в данном слое, регулируя температурный напор в нем и исходные для систематизации задач, учитывающих требования закона Фурье.

«Подвижные» слои формируют «сложный» теплообмен, при котором следует суперпозиционировать передачу тепла и его перенос внешними силами.

Методика формирования выводов, приведенных при исследовании изменений термических сопротивлений ограждения, может быть распространена на исследование всех характеристик обмена энергией в различных средах (Q, q, t, \dots), например, для исследования вентилируемых фасадов.

Указан вариант расчета сложного теплообмена через «подвижные» слои ограждений суммированием суперпозиционно проявляемых свойств теплопроводности «замкнутыми» и переноса энергии «подвижными» слагаемыми.

SUMMARY

The cost of maintaining the set temperature in the premises is largely dependent on the State of the environment and thermal characteristics of frame structures ($Q, q, \lambda, C, t, \Delta t, R, \dots$) To assess the interaction of these parameters, especially in layered structures, should emphasize the need for bases of theoretical research on the basis of the principle of superposition. Using this principle system of formulas for layered fencing easier, introducing the characteristics of individual sectors of the constituents of the associated among themselves. This allows you to draw conclusions and predict increased arsenal of tools for managing the transition energies through layered frame structures.