

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ИЗ СЭНДВИЧ - ПАНЕЛЕЙ

Ст. преп. Сергей ПУТИВЕЦ

Технический университет Молдовы

ABSTRACT

The comparison of the two methods of calculating the thermal performance of the enclosing structure of the "sandwich panel" with the thermally conductive inclusions.

В современном строительстве в качестве наружных ограждений широко применяются сэндвич - панели, изготавливаемые индустриальным способом, которые резко сокращают сроки возведения объектов.

В промышленном строительстве применяют трехслойные панели, состоящие из двух металлических листов, эффективной теплоизоляции между ними и соединительных металлических элементов, полностью или частично пронизывающих толщу теплоизоляции. Приведенное термическое сопротивление ограждений из таких панелей определяют следующим образом: конструкция условно расчленяется на однородные элементы, тепловые сопротивления которых рассчитывают по приложению П [1]. Затем конструкция представляется в виде цепи из тепловых сопротивлений, образующих последовательно-параллельные участки, для которых рассчитывается приведенное тепловое сопротивление ρ^r , °C/Вт. Причем участки с параллельными ветвями цепи с тепловыми сопротивлениями ρ' и ρ'' рассчитываются по формуле:

$$\rho = (\rho' \rho'') / (\rho' + \rho''), \quad (1)$$

а участки с последовательными тепловыми сопротивлениями - суммированием их тепловых сопротивлений:

$$\rho = \rho' + \rho'' \quad (2)$$

Приведенное термическое сопротивление R_k^r , м²·°C/Вт, определяют по формуле:

$$R_k^r = \rho^r \cdot A, \quad (3)$$

где A - площадь неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента, м^2 , по размерам с внутренней стороны.

В приложении П [1] приведен пример расчета такой панели. Ограждающая конструкция образована трехслойными панелями из листовых материалов шириной $B = 6$ м, примыкающих торцами друг к другу. Панель выполнена из стальных оцинкованных облицовочных листов толщиной 1 мм, между которыми расположен слой утеплителя из пенополиуретана толщиной 150 мм. Торцы панели выполнены из того же стального листа без разрыва мостика холода. Расчетная схема участка ограждающей конструкции с исходными данными показана на рис. 1.

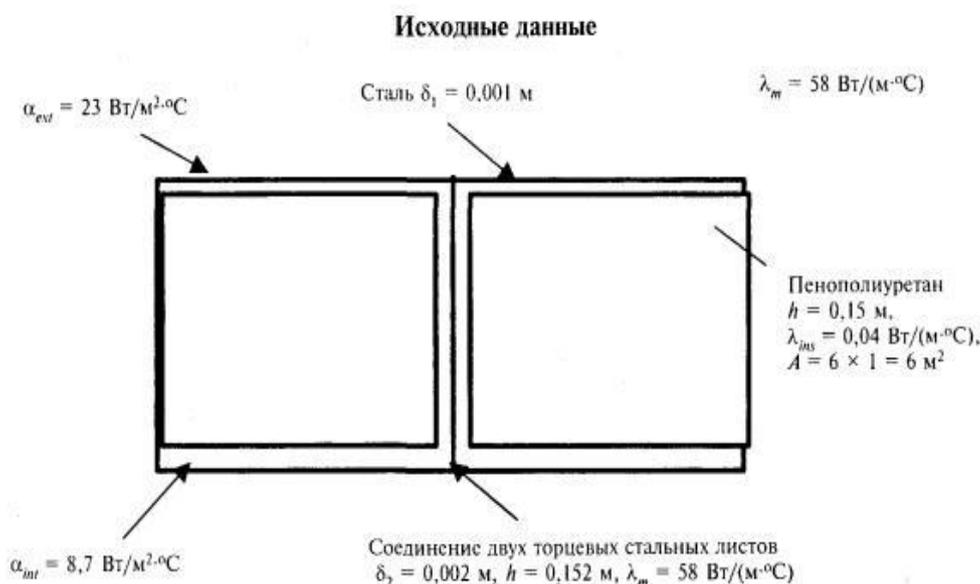


Рисунок 1. Расчетная схема участка ограждения из сэндвич-панелей.

Результирующее приведенное сопротивление теплопередаче ограждения по расчетам [1] составило $R_o^r = 3,138 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}$.

В соответствии с [1] теплотехнический расчет неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих сквозные и несквозные теплопроводные включения, можно также выполнять на основе расчета температурных полей. Приведенное сопротивление теплопередаче R_o^r , $(\text{м}^2\cdot\text{°С)/Вт}$, неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента в этом случае определяется по формуле:

$$R_o^r = n \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot A / Q, \quad (4)$$

где A - площадь неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента, м^2 , по размерам с внутренней стороны;

Q - суммарный тепловой поток через конструкцию или ее фрагмент площадью A , Вт, определяемый на основе расчета температурного поля на компьютере либо экспериментально по методике, приведенной в [2], с её внутренней стороны;

n - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый согласно таблице 6 [3];

t_{int} - расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_{ext} - расчетная температура наружного воздуха, °С.

Выполнено численное моделирование процесса стационарной теплопередачи через ограждающую конструкцию с использованием программного комплекса ELCUT [4]. На рис.2 показана картина распределения температур в толще панели, а на рис. 3 – на внутренней и наружной поверхностях исследуемого участка панели. Изотермы на рис.2 проведены с шагом 3,5 °С.

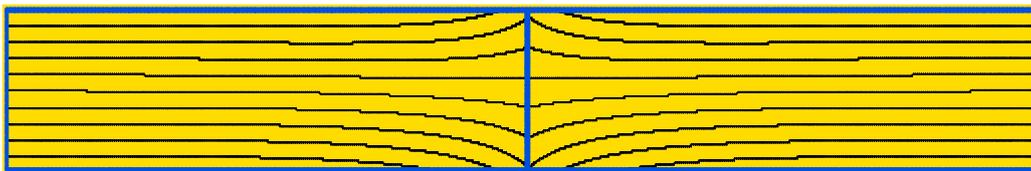
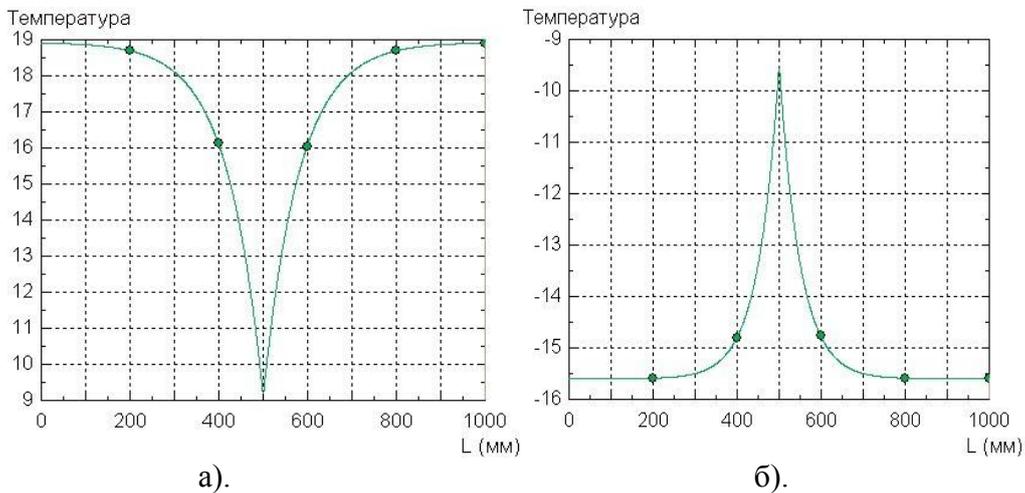


Рисунок 2. Распределение температур в толще исследуемого участка панели.



а). б).
Рисунок 3. Графики температур на внутренней (а) и наружной (б) поверхностях сэндвич - панелей.

В результате компьютерного расчета получено значение теплового потока через участок ограждения размерами 1 x 1 м, в соответствии со

схемой (рис. 1). При разности температур наружного и внутреннего воздуха $t_{int} - t_{ext} = 20 - (-16) = 36$ °С, тепловой поток составил $Q = 23,079$ Вт. После подстановки значений в формулу (4), с учетом того, что $n = 1$, находим приведенное сопротивление теплопередаче ограждения:

$$R_o^r = 1 \cdot 36 \cdot 1 / 23,079 = 1,560 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт} \quad (5)$$

Полученный результат заставил усомниться в расчетах, представленных в приложении П [1], так как полученное значение $R_o^r = 1,560$ (м²·°С)/Вт значительно меньше величины $R_o^r = 3,138$ (м²·°С)/Вт, полученной в указанном приложении. Была выполнена проверка ручного расчета, в ходе которой установлено, что в формулах П4 и П7 [1] допущены ошибки при подстановке в расчетные формулы размеров зон влияния теплопроводного включения В и L. Ниже приведен расчет с исправлением этих ошибок:

1) Тепловые сопротивления наружной и внутренней поверхностей панели:

$$\rho_{ext} = 1 / (\alpha_{ext} \cdot A) = 1 / (23 \cdot 6) = 0,007 \text{ °С/Вт};$$

$$\rho_{int} = 1 / (\alpha_{int} \cdot A) = 1 / (8,7 \cdot 6) = 0,019 \text{ °С/Вт}.$$

2) Тепловое сопротивление обшивок находим по формуле:

$$\rho = 1 / [2L \sqrt{(\alpha \lambda_m \delta) th(\beta B / 2)}] - 1 / (A \alpha),$$

а) для наружной обшивки:

$$\beta_{ext} = \sqrt{\alpha_{ext} / (\lambda_m \delta_1)} = \sqrt{23 / (58 \cdot 0,001)} = 19,914 \text{ м}^{-1},$$

$$r_{se} = 1 / [2 \cdot 6 \cdot \sqrt{23 \cdot 58 \cdot 0,001} \cdot th 12,247 \cdot 6 / 2] - 1 / 6 \cdot 23 = 0,0648 \text{ °Ñ / Åð};$$

б) для внутренней обшивки:

$$\beta_{int} = \sqrt{8,7 / (58 \cdot 0,001)} = 12,247 \text{ м}^{-1},$$

$$r_{si} = 1 / [2 \cdot 6 \cdot \sqrt{8,7 \cdot 58 \cdot 0,001} \cdot th 12,247 \cdot 6 / 2] - 1 / 6 \cdot 8,7 = 0,0983 \text{ °Ñ / Åð}.$$

3) Тепловое сопротивление стенки, образованной торцевыми листами:

$$\rho_w = h / (\lambda_m \cdot \delta \cdot L) = 0,152 / (58 \cdot 0,002 \cdot 6) = 0,2184 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

4) Тепловое сопротивление теплоизоляционного слоя:

$$\rho_{ins} = h / (\lambda_{ins} \cdot B \cdot L) = 0,15 / (0,04 \cdot 6 \cdot 1) = 0,625 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

5) Сумма последовательно соединенных тепловых сопротивлений равна:

$$\rho_m = \rho_{se} + \rho_w + \rho_{si} = 0,0648 + 0,2184 + 0,0983 = 0,3815 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

6) Находим суммарное тепловое сопротивление параллельных ветвей ρ'' :

$$1/\rho'' = 1/\rho_m + 1/\rho_{ins} = 1 / 0,3815 + 1 / 0,625 = 4,221 \text{ Вт}/^\circ\text{C};$$

$$\rho'' = 1 / 4,221 = 0,237 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

7) Результирующее приведенное сопротивление теплопередаче ограждения всей панели:

$$\begin{aligned} R_o^r = \rho_o \cdot A &= (\rho_{ext} + \rho'' + \rho_{int}) \cdot A = (0,007 + 0,237 + 0,019) \cdot 6 = \\ &= 1,578 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

Данный результат отличается от значения, полученного путем компьютерного моделирования процесса стационарной теплопередачи всего на 1,2%.

Определим коэффициент теплотехнической однородности r участка ограждающей конструкции, учитывающий влияние теплопроводных включений, с учетом найденных значений R_o^r . Из формулы (11) [1] следует:

$$r = R_o^r / R_o^{con}, \quad (6)$$

где R_o^{con} - сопротивление теплопередаче участка однородной ограждающей конструкции, определяемое по формуле (8) [1]:

$$R_o^{con} = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (7)$$

где: $R_{si} = 1/\alpha_{int}$, α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C), принимаемый по таблице 7 [3];

$R_{se} = 1/\alpha_{ext}$, α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/(м²•°С), принимаемый по таблице 8 [1];

R_k - термические сопротивления отдельных материальных слоев ограждающей конструкции, (м²•°С) / Вт.

Для рассматриваемого случая величина сопротивления теплопередаче участка однородной ограждающей конструкции получилась равной $R_o^{con} = 3,908$ (м²•°С)/Вт.

Значения r для случая компьютерного моделирования и при ручном расчете по формуле (6) соответственно равны:

$$r = 1,560 / 3,908 = 0,399; \quad r = 1,578 / 3,908 = 0,404.$$

Полученные двумя способами значения коэффициентов теплотехнической однородности r оказались достаточно близкими друг к другу.

Выводы:

1. Компьютерное моделирование процесса стационарной теплопередачи помогает быстро и без грубых ошибок рассчитать теплотехнические показатели ограждающих конструкций с теплопроводными включениями.
2. Низкие значения r для рассмотренной конструкции сэндвич - панели говорят о том, что наличие металлической облицовки и металлического стыкового узла панелей существенно снижают теплозащитные свойства рассмотренной ограждающей конструкции. Низкие локальные температуры в зоне стыков могут вызвать конденсацию водяных паров.

Литература:

1. СР Е.04.05-2006 Proiectarea protecției termice a clădirilor.
2. ГОСТ 26254-84. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
3. НСМ Е.04.01-2006. Protecția termică a clădirilor.
4. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.1. Руководство пользователя. – СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2003.