

*к.т.н. Долголаптев В.М.,  
к.т.н. Симонова И.Н.,  
Симонов С.И.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В УЗЛАХ УГЛОВЫХ СТЫКОВ ЗДАНИЙ**

*У статті наведено спрощений метод визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі, заснований на складанні еквівалентного перерізу кутового стику шляхом приведення кута зовнішньої стіни до плоскої поверхні.*

***Ключові слова:** приведений опір теплопередачі, теплопровідні включення, тепловий потік, лінійний коефіцієнт теплопередачі, температурні поля, коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої і внутрішньої поверхонь.*

*В статье приведен упрощенный метод определения линейного коэффициента теплопередачи, основанный на составлении эквивалентного сечения углового стыка путем приведения угла наружной стены к плоской поверхности.*

***Ключевые слова:** приведенное сопротивление теплопередачи, теплопроводные включения, тепловой поток, линейный коэффициент теплопередачи, температурные поля, коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхностей.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями.** Наиболее эффективный путь экономии топливно-энергетических ресурсов – повышение теплозащиты зданий и сооружений, так как на теплоснабжение гражданских зданий расходуется значительная часть дорогостоящего твердого и газообразного топлива. В связи с этим возрастают требования к точности расчета теплопотерь существующего жилого фонда с целью дальнейшей их термореконструкции, т.е. необходимо проводить анализ самой структуры теплопотерь, который до сих пор недостаточно изучен. В результате теплоизоляция зданий ведется зачастую по наитию, без четкого представления о конечных результатах работы.

Расчет структуры теплопотерь усложняется еще тем, что здание не является однородной структурой по поверхности, а зачастую имеет теплопроводные включения из материалов с коэффициентом теплопро-

водности, большим коэффициентом теплопроводности материала ограждения, которые снижают температуру внутренней поверхности ограждения и уменьшают реальные сопротивления теплопередачи конструкции в целом. Примерами теплопроводных включений в наружных ограждениях являются: элементы железобетонных или стальных каркасов, прокладные ряды из натурального камня в кирпичных стенах, ребра и перемычки в крупнопанельных конструкциях и прочие. Часто в стыках стеновых панелей имеется соединение плиты междуэтажного перекрытия с балконной плитой или плитой лоджии, которые если недостаточно утеплить в междуэтажном поясе, то можно вызвать значительное понижение температуры пола у наружных стен. Поэтому все этапы расчета теплотерь здания должны основываться на современной методологической и нормативной базе.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В настоящее время вышел целый комплекс нормативных документов по проектированию современных зданий и сооружений, направленных на экономию тепловой энергии, согласно которым должны проектироваться современные здания и сооружения, в частности ДБН В.2.6-31:2006 [1].

Огромное значение учету теплопроводных включений уделялось многими авторами, в частности [2, 3, 4]. В [5] описан расчет общего сопротивления теплопередаче ограждения, в котором теплопередача считалась одномерной (плоской многослойной стены), так и уделялось внимание современным наружным стенам и другим ограждениям, имеющих сложную конструкцию стены с двухмерным и даже трехмерным температурным полем. Для таких конструкций определяется приведенное сопротивление теплопередаче. Приведенное сопротивление теплопередаче есть величина, характеризующая усредненные теплозащитные свойства сложной (неоднородной) ограждающей конструкции, тепловой поток через которую при стационарном режиме не является одномерным. Его величина считается равной сопротивлению теплопередаче условной однородной ограждающей конструкции той же площади, одномерный тепловой поток через которую при одинаковых температурных перепадах равен тепловому потоку через данную реальную ограждающую конструкцию.

**Постановка задач.** Целью исследований является создание приемлемой для практических целей методики расчета по определению линейного коэффициента теплопередачи для упрощения проведения теплотехнического расчета.

**Представление основного материала исследований с полным обоснованием полученных результатов.** При определении приведенного сопротивления ограждающих конструкций часто необходимо учитывать наличие теплопроводных включений. Как правило, это верти-

кальные и горизонтальные стыки стеновых панелей либо углы наружных стен. Для учета теплопроводных включений используют линейный коэффициент теплопередачи  $K_i$ . Для некоторых случаев его значение приведено в ДБН В.2.6-31:2006 (таблица И.3). Естественно, что в одной таблице невозможно отразить все многообразие проектных решений и поэтому многие варианты стыков отсутствуют. В этом случае нормы устанавливают порядок определения  $K_i$  по результатам расчета двухмерных и трехмерных тепловых полей, что является весьма трудоемкой задачей. В статье предлагается упрощенный метод определения  $K_i$ , основанный на составлении эквивалентного сечения углового стыка путем приведения угла наружной стены к плоской поверхности. Сходимость величин  $K_i$  полученных по данному методу с нормативными значениями проверим расчетом.

Рассмотрим узел углового соединения стеновых панелей, приведенный в ДБН В.2.6-31:2006 (тип узла 3,  $K_y = 0,23 \frac{Вт}{м \cdot К}$ ).

Выполнив развертку угла, составляем эквивалентное сечение (рисунок 1). Дополнительные теплотери испытывают внутренние участки стеновой панели шириной 166 мм, которые примыкают к внутреннему углу с каждой стороны.

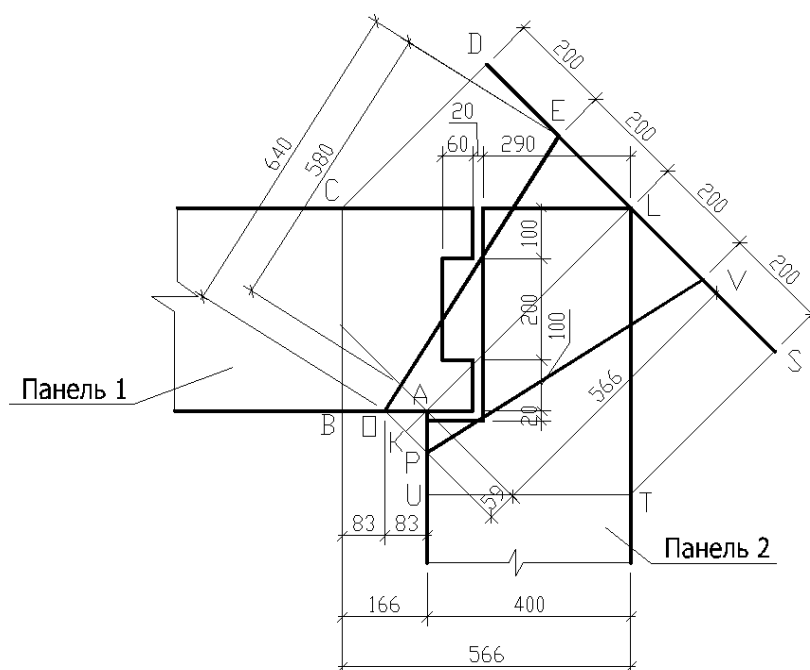


Рисунок 1 – Эквивалентное сечение для расчета линейного коэффициента теплопередачи углового стыка

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности  $\lambda_1$  для участка ABCDL:

$$\lambda_1 = \frac{1464}{\frac{1282}{0,44} + \frac{182}{0,70}} = 0,461 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Принимаем, что равнодействующая теплового потока проходит по линии ЕО, которая соединяет середины наружной и внутренней сторон эквивалентного сечения.

Длина пути теплового потока:  $\delta_1 = \sqrt{(14,1^2 + 62,5^2)} = 64,07 см.$

Коэффициент термического сопротивления стены на участке ABCDL:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,6407}{0,461} = 1,39 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Учтем коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхностей:

$$R_{01} = \frac{1}{\alpha_в} + R_1 + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + 1,39 + \frac{1}{23} = 1,548 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}.$$

Определим линейный коэффициент теплопередачи  $K_1$  для угла панели 1. Ширина расчетного участка 166 мм. Тогда

$$K_1 = \frac{0,166}{1,548} = 0,107 \frac{Вт}{м \cdot К}.$$

Рассмотрим панель 2. Определяем средневзвешенный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{II}$  для участка ALSTU. Для этого определим площади каждого материала на участке стены ALTU. Общая площадь участка ALTU:  $F_{ALTU} = 1464 см^2$ , в том числе:

- площадь цементно-песчаного раствора:

$$F_{цп} = 10 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2 \cdot 2 + 11 \cdot 2 = 40 см^2, \quad \lambda_{цп} = 0,70 \frac{Вт}{м \cdot К};$$

- площадь керамзитобетона:

$$F_{крз} = 1464 - 40 = 1424 \text{ см}^2, \quad \lambda_{крз} = 0,44 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{II}$  для участка ALSTU:

$$\lambda_{II} = \frac{1464}{\frac{1424}{0,44} + \frac{40}{0,70}} = 0,445 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Принимаем, что равнодействующая теплового потока проходит по линии VD, которая соединяет середины наружной и внутренней сторон эквивалентного сечения.

Длина пути теплового потока:  $\delta_{II} = 64,07 \text{ см}$ .

Коэффициент термического сопротивления стены на участке ALSTU:

$$R_{II} = \frac{\delta_{II}}{\lambda_{II}} = \frac{0,6407}{0,445} = 1,44 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Учтем коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхностей:

$$R_{02} = \frac{1}{\alpha_в} + R_{II} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8,7} + 1,44 + \frac{1}{23} = 1,598 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Определим линейный коэффициент теплопередачи  $K_2$  для угла панели 2. Ширина расчетного участка 166 мм. Тогда

$$K_2 = \frac{0,166}{1,598} = 0,104 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Суммарный линейный коэффициент теплопередачи узел углового соединения стеновых панелей:

$$K_{yc} = K_1 + K_2 = 0,107 + 0,104 = 0,211 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Линейный коэффициент теплопередачи такого же узла согласно ДБН В.2.6-31:2006 составляет  $K_y = 0,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Длина углового

вертикального стыка  $L_{bc} = 2,58$  м. Угловая панель имеет вертикальный стык такого типа.

Учитываем, что теплопроводные включения относятся и к смежным панелям:

$$\sum_{j=1}^2 K_j \cdot L_j = 0,489 \cdot 3,18 + (0,5 \cdot 0,16 + 0,104) \cdot 2,58 = 2,063 \frac{Bm}{K}.$$

Приведенное сопротивление теплопередачи угловой панели с учетом теплопроводных включений определяем по формуле:

$$R_{np}^p = \frac{4,486}{\frac{(2,53 + 0,945)}{1,034} + 2,063} = 0,827 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Проверим влияние погрешности между  $K_{yc}$  и  $K_y$  на приведенное сопротивление теплопередаче сплошной стеновой панели размером  $3480 \times 2680 \times 300$  мм из керамзитобетона плотностью  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Примем конструкцию горизонтального стыка по ДБН В.2.6-31:2006 (тип узла 4,  $K_y = 0,34 \frac{Bm}{m \cdot K}$ ). Количество горизонтальных стыков – 2, длина каждого стыка – 3,48 м. Панель имеет один вертикальный стык по ДБН В.2.6-31:2006 (тип узла 6,  $K_y = 0,32 \frac{Bm}{m \cdot K}$ ) и один вертикальный угловой стык, который рассмотрен выше. Длина каждого вертикального стыка – 2,68 м. Учет теплопроводных включений проводим по формуле (И.4) ДБН В.2.6-31:2006:

$$R_{np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma i}} F_i + \sum_{j=1}^m k_j L_j};$$

$$R_{nan} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \sum_{i=1}^3 R_i + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,3}{0,44} + \frac{0,015}{0,70} + \frac{1}{23} = 0,888 \frac{m^2 \cdot K}{Bm};$$

$$F_{nan} = 3,48 \cdot 2,68 = 9,3264 m^2.$$

Определим  $R_{np}$  при  $K_y = 0,23 \frac{Bm}{m \cdot K}$  (т.е. согласно ДБН В.2.6-31:2006):

$$R_{np} = \frac{9,3264}{\frac{9,3264}{0,8880} + 2 \cdot 0,34 \cdot 3,48 + 0,32 \cdot 2,68 + 0,23 \cdot 2,68} = 0,6502 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Определим  $R_{np1}$  при коэффициенте теплопередачи согласно расчета  $K_{yc} = 0,223 \frac{Bm}{m \cdot K}$ :

$$R_{np1} = \frac{9,3264}{\frac{9,3264}{0,8880} + 2 \cdot 0,34 \cdot 3,48 + 0,32 \cdot 2,68 + 0,223 \cdot 2,68} = 0,6511 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Погрешность в определении  $R_{np}$  составляет:

$$\Delta = \frac{0,6511 - 0,6502}{0,6502} \cdot 100\% = 0,14\% .$$

Аналогичный расчет для кирпичной стены, представленной в ДБН В.2.6-31:2006 (тип узла 9,  $K_y = 0,31 \frac{Bm}{m \cdot K}$ ) дает значение  $K_{yc} = 0,32 \frac{Bm}{m \cdot K}$ , т.е. на 3,23% выше, чем по нормам.

В обоих случаях предложенная методика дает вполне приемлемый для практических целей результат и при этом значительно облегчает выполнение теплотехнических расчетов.

**Выводы и перспективы дальнейшего развития.** На основании вышесказанного можно сделать вывод, что приведенный инженерный метод дает хорошую сходимость результатов и может найти применение в инженерных расчетах при вычислении теплотерь как существующих зданий, так и вновь строящихся. Дальнейшие исследования будут направлены на определение теплотерь зданий с применением указанного метода расчета.

### Библиографический список

1. *Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний від 01.04.2007]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 68 с.*
2. *Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табуникова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.*

3. Хоменко В. П. Справочник по теплозащите зданий / В.П. Хоменко, Г.Г. Фаренюк. – К.: Будівельник, 1986. – 216 с.

4. Фаренюк Г.Г. Составляющие теплопотерь зданий первых массовых серий и возможности изменения их структуры / Г.Г. Фаренюк // Реконструкція житла. – 2003. – С. 99 – 102.

5. Малявина Е.Г. Теплопотери здания: [справ. пособ.] / Е.Г. Малявина. – М.: «АВОК–ПРЕСС», 2007.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.*