

## **ТЕМПЕРАТУРНІ ПОКАЗНИКИ КУТА З ДОДАТКОВИМ УТЕПЛЕННЯМ В ПОГЛИБЛЕННЯХ ІЗ ЗОВНІШНЬОГО БОКУ СТІНИ**

Прищенко А.М., Жмихова Т.В., Тимофеев М.В.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
м. Макіївка, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Запропоновано математичну модель розрахунку мінімальних температур на внутрішній поверхні кута зовнішньої стіни з додатковим утепленням в поглибленні із зовнішнього боку при застосуванні фасадної теплоізоляції з тонкошаровою штукатуркою.

**АННОТАЦИЯ:** Предложена математическая модель расчета минимальных температур на внутренней поверхности угла наружной стены с дополнительным утеплением в углублении с внешней стороны при использовании фасадной теплоизоляции с тонкослойной штукатуркой.

**ABSTRACT:** The design procedure heat and moisture characteristics of the ventilated front systems at small thickness of an air layer and an air-tight design of facing are considered. It is fixed an opportunity of loss of a condensate under settlement conditions and ways of prevention of this phenomenon are planned.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Фасадна теплоізоляція, кут зовнішньої стіни, чисельне моделювання, температурне поле.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Фасадна теплоізоляція, тобто розташування утеплювача із зовнішнього боку стіни, значно покращує теплотехнічні характеристики огорожень. Це стосується, насамперед, зниження впливу містків холоду, які можуть утворюватися в місцях температуропровідних включень або кутових з'єднаннях. Але температура в куті навіть при зовнішньому утепленні за величиною менше, ніж температура по основному полю.

Підвищити значення температури можна за рахунок додаткового утеплення в конструкції стіни. В панельних будинках в кутовому стику виконувались спеціальні порожнини, в яких розташовувався додатковий утеплювач. Як показав досвід експлуатації такого стику, в них часто відбуваються теплові відмови через неякісне будівельне виконання робіт, а до того ж надлишкову повітропроникність. В стінах з штучних елементів та монолітних потрібне інше конструктивне рішення кута, яке не буде мати наведених недоліків та забезпечувати рівномірний розподіл температур на внутрішній поверхні.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теплопередача через кут зовнішньої стіни для традиційного конструктивного рішення без додаткового утеплення є достатньо проробленою задачею К.Ф. Фокиним та В.Н. Богословським, є сучасні роботи О.Д. Самарина [1], А.І. Бородіна [2]. Температура у куті за рахунок недостатнього підведення конвективного тепла завжди менше за величиною у порівнянні з температурою на відстані від кута. За рахунок цього приведений опір теплопередачі кутового з'єднання буде менший за величину опору теплопередачі по основному полі. Відомі математичні залежності вказаних авторів не дають точної оцінки для сучасних рішень з фасадною теплоізоляцією, а нові конструктивні рішення потребують додаткових наукових обґрунтувань.

Авторами запропоновано [3] новий спосіб влаштування прорізу в зовнішніх стінах з поглибленням із зовнішнього боку. В порожнині додатково влаштовується шар утеплювача, що сприяє підвищенню теплозахисних властивостей вузлового з'єднання. На запропоноване конструктивне рішення одержано патент України [4] на корисну модель.

Наведений принцип додаткового утеплення можливо застосувати у зовнішньому куті стіни при фасадній теплоізоляції. Скоріш всього ефективність запропонованого рішення буде залежати від конструкції стіни і можливостей виконання додаткового поглиблення, а також виду та товщини утеплювача. На попередніх етапах проектування, коли немає можливості чисельного моделювання або експериментальних досліджень, потрібен простий інженерний метод прогнозування температури в куті такого конструктивного рішення.

**Мета дослідження** - розробка математичної моделі визначення мінімальної температури у куті при додатковому утепленні стіни в поглибленні із зовнішнього боку на засадах чисельного моделювання температурних полів.

## РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ

До кута закладається додаткове утеплення (рис. 1а), довжина (b) якого дорівнює ширині стіни ( $\delta_{cm}$ ). Ширина порожнини ( $\delta_n$ ) назначається з дотриманням кратності і здійснення перев'язки швів у цегляній кладці.

Для вирішення поставленої задачі розглядається цегляна кладка, що має товщину стіни  $\delta_{cm} = 0,25; 0,38$  та  $0,51$  м, теплопровідність -  $\lambda_{cm} = 0,4; 0,6$  та  $0,8$  Вт/(м·К). Утеплювач має товщини  $\delta_{ym} = 0,08; 0,12$  та  $0,16$  м та теплопровідність -  $\lambda_{cm} = 0,04; 0,06$  та  $0,08$  Вт/(м·К). Вказані показники товщини та теплопровідності відповідають основним загальноприйнятим конструктивним рішенням. Для скорочення числа розрахунків була розроблена матриця планування експерименту на основі греко-латинських квадратів, яка дозволила знизити чисельність варіантів з 81 до 9.

Для визначення температурних полів використовувалась програма Therm 6.0. При чисельному моделюванні умовно не враховано внутрішню та зовнішню тонкошарова штукатурка в фасадній теплоізоляції, що за теплотехнічними властивостями мають малі значення опорів теплопередачі. Температура внутрішнього повітря складала  $20$  °С, зовнішнього – мінус  $22$  °С, що відповідає першій температурній зоні України. Коефіцієнти теплопередачі внутрішньої за зовнішньої поверхонь приймалися рівними відповідно  $8,7$  та  $23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). На рис. 1б показано приклад результату розрахунку температурного поля для варіанта 1. В табл.1 наведено значення температури в куті  $\tau_{кут}$ , °С, для дев'яти варіантів.

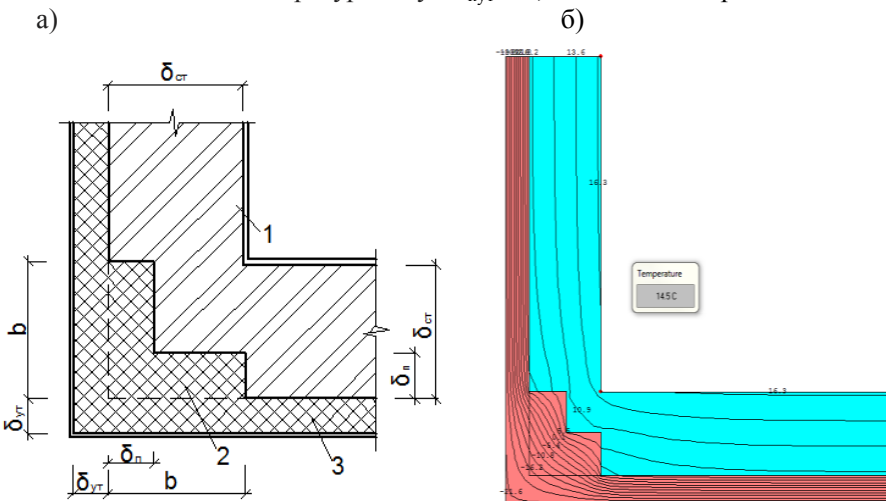


Рис. 1. Додаткове утеплення кута при зовнішньому поглибленні:  
а - схема влаштування; б - температурне поле для варіанта 1

За отриманими результатами проводився пошук відповідної математичної моделі, що надає залежність температури в куті від чотирьох факторів. Розглядалось три види математичної моделі: квадратична, лінійна та обернена. За результатами обробки даних виявлено, що обернена модель найбільш точно описує залежність температури від чотирьох факторів, наведених в табл. 1. Коефіцієнт детермінації для першої моделі становить –  $R^2 = 0,96$ ; другої -  $R^2 = 0,98$  та третьої -  $R^2 = 0,997$ .

Таблиця 1  
Температура в куті для різних варіантів додаткового утеплення

Варіант	Стіна		Утеплювач		Температура в куті $\tau_{\text{кут}}$ , °С,		
	$\delta_{\text{ст}}$ , м	$\lambda_{\text{ст}}$ , Вт/(м·К)	$\delta_{\text{ут}}$ , м	$\lambda_{\text{ут}}$ , Вт/(м·К)	з поглибленням	без поглиблення	різниця
1	0,25	0,8	0,08	0,08	14,5	12,8	1,7
2	0,38	0,6	0,08	0,06	15,5	14,3	1,2
3	0,38	0,8	0,12	0,08	15,5	14,4	1,1
4	0,25	0,6	0,08	0,04	16,6	15,3	1,3
5	0,51	0,6	0,12	0,06	16,3	15,5	0,8
6	0,51	0,4	0,16	0,08	16,2	15,7	0,5
7	0,38	0,4	0,16	0,06	16,9	16,2	0,7
8	0,25	0,4	0,12	0,04	17,4	16,5	0,9
9	0,51	0,8	0,16	0,04	17,7	17	0,7

Аналітичний вигляд вихідної функції наступний

$$\tau_{\text{кут}} = a_0 + a_1/\delta_{\text{ст}} + a_2/\lambda_{\text{ст}} + a_3/\delta_{\text{ут}} + a_4/\lambda_{\text{ут}}. \quad (1)$$

На засадах 9 спостережень (n=9) за допомогою MS Excel побудовано математичну модель для цієї функції.

Отримано наступні оцінки параметрів моделі:  $a_4 = 0,148$ ;  $a_3 = -0,163$ ;  $a_2 = 0,305$ ;  $a_1 = -0,155$ ;  $a_0 = 14,983$ . Стандартні помилки оцінок параметрів моделі:  $Sa_4 = 0,007$ ;  $Sa_3 = 0,02$ ;  $Sa_2 = 0,073$ ;  $Sa_1 = 0,056$ ;  $Sa_0 = 0,235$ . Коефіцієнт детермінації –  $R^2=0,996$  та стандартна помилка рівняння –  $\sigma_u = 0,094$ . Критерій Фішера –  $F=231,14$  та число ступенів свободи –  $(n-k) = 4$ . Сума квадратів відхилень має регресію -  $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 = 8,114$ . Сума квадратів надлишків становить  $\sum_{i=1}^n (y_i - y_i)^2 = 0,035$ .

Таким чином математична модель має вигляд

$$\tau_{\text{кут}} = 14,983 - 0,155/\delta_{\text{ст}} + 0,305/\lambda_{\text{ст}} - 0,163/\delta_{\text{ут}} + 0,148/\lambda_{\text{ут}}. \quad (2)$$

Для оцінки значущості кожного параметра розраховано t-критерій Стьюдента:  $ta_4 = 22,75059$ ;  $ta_3 = 8,339214$ ;  $ta_2 = 4,19349$ ;  $ta_1 = 2,748626$ ;  $ta_0 = 63,69566$ . Табличне значення t-критерію при рівні значущості  $\gamma = 0,05$  та числі ступенів свободи 4 дорівнює 2,776. Нерівність  $t_{\text{розрах}} > t_{\text{табл}}$  виконано для  $a_0$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  та  $a_4$ . Для підвищення точності математичної моделі будемо вважати, що всі параметри статистично значущі. Математична модель виглядає так, як представлено в залежності (2). При оцінці якості моделі враховано дві

характеристики. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,996$  показує, що температура в куті на 99,6% визначається впливом факторів, що досліджуються. Розрахункове значення критерію Фішера дорівнює  $F_p = 231,14$ . Табличне значення F-критерію для  $(m = 4)$  та  $(n - m - 1 = 4)$  ступенів свободи та рівні значущості  $\gamma = 0,05$  дорівнює  $F_{\text{табл}} = 6,39$ . Оскільки  $F_p > F_{\text{табл}}$ , то модель статистично значима та може використовуватися для прогнозування.

Аналогічно розраховувались температурні поля для вибраних дев'яти варіантів, але без додаткового утеплення в поглибленні. Значення температури в куті наведені в передостанній графі табл.1. Залежність для температури в куті отримана у наступному вигляді

$$t_{\text{кут}} = 14,314 - 0,383/\delta_{\text{ст}} + 0,574/\lambda_{\text{ст}} - 0,213/\delta_{\text{ут}} + 0,165/\lambda_{\text{ут}}. \quad (3)$$

За даними табл.1 за рахунок поглиблення та додаткового утеплення температура в куті підвищилась на  $0,5...1,7$  °С в залежності від значення опору теплопередачі огороження.

## ВИСНОВКИ

1. Запропоноване конструктивне рішення влаштування поглиблення із зовнішнього боку кута та розташування в ньому додаткового утеплення підвищує температуру в куті на  $0,5...1,7$  °С, що забезпечує більш комфортні умови в приміщенні.

2. Одержана математична залежність дозволяє розраховувати значення температури в куті без використання методів чисельного моделювання та експериментальних досліджень, що спрощує прийняття інженерних рішень.

3. Подальші дослідження будуть направлені на визначення залежностей лінійного коефіцієнту та приведенного опору теплопередачі для досліджених варіантів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Самарин О.Д. К вопросу определения температуры в наружном углу здания / Самарин О.Д. – М.: Труды НИИСФ-50, 2008. - С. 104 – 107.
2. Бородин А.И. Определение температуры на внутренней поверхности в углу наружной стены / А.И. Бородин // Изв. Вузов. Строительство. – 2007. - №2. - С. 76-79.
3. Прищенко Н.Г. Способ устройства проема в наружной стене с углублением с внешней стороны / Н.Г. Прищенко, Н.В Тимофеев, А.Н. Прищенко // Вестник Донецкого ПромстройНИИпроекта. - 2011. – Вып. №11. – С. 27 – 32.
4. Пат. 62467 Україна. Спосіб влаштування прорізу в стіні з поглибленням з зовнішнього боку / Прищенко М.Г., Тимофеев М.В., Прищенко А.М. - №u201102368; опубл. 28.02.2011.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013 р.