

Уже із січня 2012 року університет почав отримувати дивіденди у вигляді економії енергії та інших матеріальних ресурсів. В табл. 1 наведені порівняльні характеристики моніторингу ресурсів у студмістечку СумДУ.

Усі ці інноваційні заходи дали можливість університету зменшити використання енергії й тепло ресурсів. У свою чергу це призвело до економії коштів, які можуть бути використані в інших напрямках діяльності вишу для підвищення якості освіти, нарощування власного технічного та наукового потенціалу.

#### Список використаної літератури

1. Habib M. Alshuwaikhat. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices / Habib M. Alshuwaikhat, Ismaila Abukar // Journal of Cleaner Production. – 2008. – V. 16. – P. 1777-1785.
2. Закон України «Про енергозбереження» // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 30. – ст. 283.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013

УДК 699.866:004.94

О.О. КУЗНЄЦОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ НА ПРИБЕДЕНИЙ ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДИНКІВ

*У статті проведено аналіз впливу термічних неоднорідностей, зокрема зовнішнього кута огорожувальної конструкції будинку, на теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій будинків. Розглянута математична модель теплопереносу через зовнішній кут будинку з подальшим розв'язуванням задачі із застосуванням комп'ютерної техніки. Визначено значення приведенного опору теплопередачі розглядуваного фрагменту зовнішнього огороження будинку*

**Ключові слова:** *приведений опір теплопередачі, термічна неоднорідність, теплоперенос, теплопровідне включення*

Одним із шляхів економії енергоресурсів в житлово-комунальному секторі є утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків із застосуванням сучасних теплоізоляційних матеріалів. При цьому сучасні огорожувальні конструкції практично є термічно неоднорідними об'єктами. Використання комп'ютерних

розрахунків при проведенні теплотехнічних досліджень огорожувальних конструкцій дозволяє аналізувати ступінь впливу різноманітних типів термічних неоднорідностей на рівень теплового захисту зовнішніх огорожень, здійснювати пошук оптимальних рішень при теплотехнічному проектуванні огорожувальної оболонки будинку, отримувати об'єктивні значення приведенного опору теплопередачі для перевірки конструкцій на відповідність теплотехнічним нормам.

**Постановка проблеми.** Об'єктом дослідження є вплив термічних неоднорідностей (теплопровідних включень, конструктивних особливостей тощо) на приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків. Із введенням в дію нового нормативного документа ДБН В.2.6-31:2006 [1], суттєво підвищилися вимоги щодо рівня теплоізоляційного захисту огорожувальних конструкцій будівель. Збільшити термічний опір зовнішніх огорожень будинків можна завдяки утепленню із застосуванням сучасних теплоізоляційних матеріалів. Для досягнення нормативного рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій необхідним є коректне визначення потрібної товщини теплоізоляційного шару. Це завдання ускладнюється тим, що практично всі огорожувальні конструкції містять різного роду теплопровідні включення та інші конструктивні елементи, які призводять до термічної неоднорідності.

Застосування комп'ютерного моделювання дозволяє визначати приведений опір теплопередачі та необхідну товщину теплоізоляційного шару неоднорідних огорожувальних конструкцій. Комп'ютерне моделювання надає можливість прогнозувати теплозахисні властивості огорожень, здійснювати пошук оптимальних теплотехнічних рішень, а також визначати коефіцієнти теплопередачі (лінійні та точкові) у зоні впливу теплопровідних включень.

**Актуальність дослідження.** Забезпечення нормативного рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій будинків можливо лише при коректному визначенні необхідної товщини теплоізоляційного матеріалу. Для цього необхідно знати приведений опір теплопередачі таких конструкцій. Використання комп'ютерного моделювання дозволяє визначати приведений опір теплопередачі, а також прогнозувати та оптимізувати теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, що проектуються.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методичним питанням щодо визначення приведенного опору теплопередачі та необхідної товщини теплоізоляції

термічно неоднорідних конструкцій присвячено багато робіт [2, 3, 4, 5]. На сьогодні найбільш перспективним методом визначення приведенного опору теплопередачі термічно неоднорідних конструкцій уявляється математичне моделювання процесу теплопереносу з наступним розв'язуванням крайової задачі чисельними методами із застосуванням комп'ютерної техніки. Моделювання дозволяє спрогнозувати теплозахисні властивості нових огорожувальних конструкцій, врахувати вплив теплопровідних включень та оптимізувати товщину теплоізоляційного шару.

**Основні результати дослідження.** Згідно [1] для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}}, \quad (1)$$

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{сг}}, \quad (2)$$

$$\tau_{\text{в min}} > t_{\text{min}}. \quad (3)$$

де  $R_{\Sigma \text{ пр}}$  – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$R_{q \text{ min}}$  – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;  $\Delta t_{\text{пр}}$  – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

$\Delta t_{\text{сг}}$  – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;  $\tau_{\text{в min}}$  – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

$t_{\text{min}}$  – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Одним з найважливіших теплотехнічних параметрів зовнішніх огорожувальних конструкцій є приведений опір теплопередачі. Мінімально допустиме значення опору теплопередачі  $R_{q \text{ min}}$  огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків наведено у табл. 1. При цьому значення опору теплопередачі залежить від

температурної зони, в якій розташований будинок (вся територія України згідно з [6] умовно поділена на 4 температурні зони). В разі реконструкції будинків, яка виконується з метою термомодернізації, значення  $R_{q \min}$  може бути прийняте з табл. 1 з коефіцієнтом 0,8.

Одним із шляхів досягнення відповідних значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, зокрема зовнішніх стін, є їхнє утеплення за допомогою теплоізоляційних матеріалів. Для визначення необхідної товщини шару теплоізоляції необхідно виконати відповідний теплотехнічний розрахунок.

Зазвичай, зовнішні стіни з фасадною теплоізоляцією є термічно неоднорідними конструкціями. І для коректного визначення приведенного опору теплопередачі всієї непрозорої огорожувальної конструкції або її частини необхідно враховувати вплив різноманітних теплопровідних включень (наприклад, дюбелів, що застосовуються для механічного прикріплення теплоізоляційного матеріалу до стіни) та інших конструктивних елементів, що обумовлюють термічну неоднорідність (наприклад, віконних укосів, вузлів сполучення огорожувальних конструкцій).

Таблиця 1. Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків  $R_{q \min}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  [1]

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$ , для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття й перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5
4	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані вище рівня землі	2,8	2,6	2,2	2,0
5а*	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	3,75	3,45	3,0	2,7
5б		2,5	2,3	2,0	1,8
6а*	Вікна, балконні двері, вітрини, вітражі, світлопрозорі фасади	0,6	0,56	0,5	0,45
6б		0,5	0,5	0,5	0,45
7	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище першого поверху	0,25	0,25	0,25	0,25
* Для будинків садибного типу і будинків до 4 поверхів включно					

Згідно [1] приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_{j=1}^J \frac{R_j F_j}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_3} \quad (4)$$

де  $R_j$  – термічний опір термічно однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі результатів розрахунків двовимірного (тривимірного) температурного поля й розраховується за формулою

$$R_j = \frac{\bar{t}_{bj} - \bar{t}_{zj}}{q_j} \quad (5)$$

де  $\bar{t}_{bj}, \bar{t}_{zj}$  – середні температури внутрішньої і зовнішньої поверхні термічно однорідної зони, °С, відповідно;  $q_j$  – щільність теплового потоку через термічно однорідну зону, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_j$  – площа  $j$ -ї термічно однорідної зони, м<sup>2</sup>;  $F_{\Sigma}$  – площа огорожувальної конструкції, м<sup>2</sup>;  $\alpha_b, \alpha_3$  – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції та від зовнішньої поверхні до зовнішнього повітря, відповідно, Вт/м<sup>2</sup>·К.

Для конструкцій з визначеними значеннями лінійного коефіцієнту теплопередачі теплопровідних включень,  $k_j$ , Вт/(м·К), приведений опір теплопередачі розраховується за формулою:

$$R_{np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma i}} F_i + \sum_{j=1}^m k_j L_j}, \quad (6)$$

де  $k_j$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м · К),  $j$ -го теплопровідного включення (для конструкцій, для яких лінійний коефіцієнт теплопередачі не визначений попередньо, значення цього показника визначаються за результатами розрахунків двовимірних (тривимірних) температурних полів згідно з [1]);

$L_j$  – лінійний розмір, м,  $j$ -го теплопровідного включення за внутрішньою поверхнею термічно неоднорідної огорожувальної конструкції;  $R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -ї термічно однорідної зони огорожувальної конструкції, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $F_i$  – площа  $i$ -ї термічно однорідної зони огорожувальної конструкції, м<sup>2</sup>.

Якщо огорожувальна конструкція включає окрім лінійних також точкові теплопровідні включення, тоді формула для визначення приведенного опору теплопередачі має вигляд [3]:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = F_{\Sigma} / \left( \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^m k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k \right), \quad (7)$$

де  $\psi_k$  – точковий коефіцієнт теплопередачі  $k$ -го теплопровідного включення, Вт/К;  
 $N_k$  – кількість  $k$ -их теплопровідних включень, шт.

Розглянемо, як впливають різного роду конструктивні елементи, на термічну неоднорідність і, відповідно, на приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. В якості прикладу візьмемо фрагмент огорожувальної конструкції, а саме зовнішній вертикальний кут будинку і застосуємо метод математичного моделювання теплопереносу з наступним чисельним розв'язуванням крайової задачі за допомогою програмного пакету ElCut.

Розрахунковий фрагмент складається із захисного штукатурного шару 1, шару утеплювача (мінеральна вата) 2, цегляної стіни 3, шару цементно-вапняної штукатурки 4 (рис. 1).

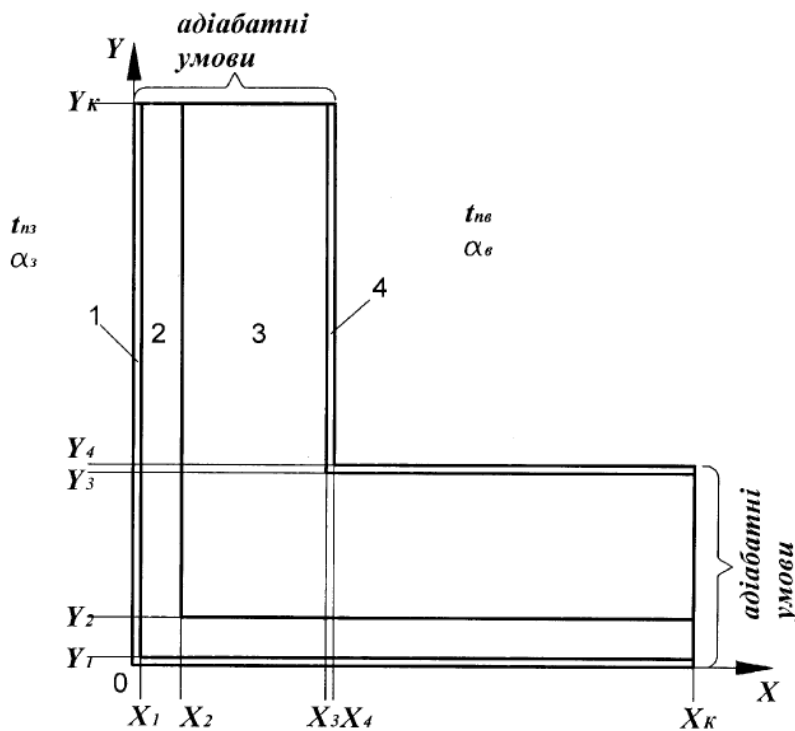


Рис. 1. Розрахункова схема фрагменту огорожувальної конструкції:  
 1 – захисний штукатурний шар; 2 – шар утеплювача; 3 – цегляна стіна;  
 4 – цементно-вапняна штукатурка

Відомі теплофізичні характеристики матеріалів системи (коефіцієнти теплопровідності  $\lambda_i$ , густина  $\rho_i$ ,  $i=1, 2, 3, 4$ ), її геометричні розміри, температури зовнішнього ( $t_{нз}$ ) та внутрішнього ( $t_{не}$ ) середовищ та коефіцієнти тепловіддачі на зовнішній ( $\alpha_3$ ) та внутрішній ( $\alpha_6$ ) поверхнях огороження. Приймається, що теплофізичні властивості не залежать від температури, при цьому температурне поле є стаціонарним.

Теплоперенос через цей фрагмент стінової конструкції в областях 1, 2, 3, 4 описується двомірними стаціонарними рівняннями теплопровідності в декартовій системі координат:

$$\lambda_i \frac{d^2 t_i}{dx^2} + \lambda_i \frac{d^2 t_i}{dy^2} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (8)$$

Система рівнянь (8) замикається граничними умовами:

$$-\lambda_4 \frac{\partial t_4}{\partial x} \Big|_{x=X_4} = \alpha_в t_4 \Big|_{x=X_4} - t_{пв}; \quad Y_4 \leq y < Y_k; \quad (9)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_3 t_1 \Big|_{x=0} - t_{пз}; \quad 0 \leq y < Y_k; \quad (10)$$

$$-\lambda_4 \frac{\partial t_4}{\partial y} \Big|_{y=Y_4} = \alpha_в t_4 \Big|_{y=Y_4} - t_{пв}; \quad X_4 \leq x < X_k; \quad (11)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial y} \Big|_{y=0} = \alpha_3 t_1 \Big|_{y=0} - t_{пз}; \quad 0 \leq x < X_k; \quad (12)$$

$$\frac{\partial t_i}{\partial x} \Big|_{x=X_k} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad (13)$$

$$\frac{\partial t_i}{\partial y} \Big|_{y=Y_k} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad (14)$$

$$t_1 \Big|_{x=X_1} = t_2 \Big|_{x=X_1}, \quad \lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big|_{x=X_1} = \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x} \Big|_{x=X_1}, \quad Y_1 \leq y < Y_k; \quad (15)$$

$$t_2 \Big|_{x=X_2} = t_3 \Big|_{x=X_2}, \quad \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x} \Big|_{x=X_2} = \lambda_3 \frac{\partial t_3}{\partial x} \Big|_{x=X_2}, \quad Y_2 \leq y < Y_k; \quad (16)$$

$$t_3 \Big|_{x=X_3} = t_4 \Big|_{x=X_3}, \quad \lambda_3 \frac{\partial t_3}{\partial x} \Big|_{x=X_3} = \lambda_4 \frac{\partial t_4}{\partial x} \Big|_{x=X_3}, \quad Y_3 \leq y < Y_k; \quad (17)$$

$$t_1 \Big|_{y=Y_1} = t_2 \Big|_{y=Y_1}, \quad \lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial y} \Big|_{y=Y_1} = \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial y} \Big|_{y=Y_1}, \quad X_1 \leq x < X_k; \quad (18)$$

$$t_2 \Big|_{y=Y_2} = t_3 \Big|_{y=Y_2}, \quad \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial y} \Big|_{y=Y_2} = \lambda_3 \frac{\partial t_3}{\partial y} \Big|_{y=Y_2}, \quad X_2 \leq x < X_k; \quad (19)$$

$$t_3 \Big|_{y=Y_3} = t_4 \Big|_{y=Y_3}, \quad \lambda_3 \frac{\partial t_3}{\partial y} \Big|_{y=Y_3} = \lambda_4 \frac{\partial t_4}{\partial y} \Big|_{y=Y_3}, \quad X_3 \leq x < X_k. \quad (20)$$

В математичній моделі (8) – (20) нижні індекси 1, 2, 3, 4 характеризують відповідний шар матеріалу у стіновій конструкції. На границях розрахункової області  $x=0$  ( $0 \leq y < Y_k$ ),  $x=X_4$  ( $Y_4 \leq y < Y_k$ ),  $y=0$  ( $0 \leq x < X_k$ ),  $y=Y_4$  ( $X_4 \leq x < X_k$ ) задаються граничні умови третього роду (9) – (12), при  $x=X_k$ ,  $y=Y_k$  – адіабатні умови (13), (14), а на внутрішніх границях системи – умови четвертого роду (15) – (20).

Чисельне дослідження теплового стану кутового фрагменту стінової конструкції проводилося за таких вихідних даних: коефіцієнти теплопровідності  $\lambda_1=0,81$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=0,05$  Вт/(м·К),  $\lambda_3=0,81$  Вт/(м·К),  $\lambda_4=0,87$  Вт/(м·К); товщини шарів матеріалів  $\delta_1=0,02$  м,  $\delta_2=0,1$  м,  $\delta_3=0,51$  м,  $\delta_4=0,02$  м; геометричні параметри  $X_k=2,15$  м;  $Y_k=2,15$  м; температура внутрішнього середовища (повітря)  $t_{нв}=20$  °С, температура зовнішнього середовища (повітря)  $t_{нз}=-22$  °С; коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні стіни та від зовнішньої поверхні стіни до зовнішнього повітря, відповідно,  $\alpha_6=8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $\alpha_3=23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В результаті чисельного розв'язування цієї задачі за допомогою комп'ютерної програми ElCut отримали, що у даному випадку приведений опір теплопередачі становить 2,52 м<sup>2</sup>·К/Вт. Опір теплопередачі, розрахований для аналогічної гладкої стінової конструкції, становить 2,83 м<sup>2</sup>·К/Вт. Тобто кутове сполучення стінових конструкцій значно зменшує опір теплопередачі. Для забезпечення нормативного значення приведенного опору теплопередачі необхідно збільшити товщину теплоізоляційного шару, розраховану для гладкої стіни (без будь-яких теплопровідних включень). Тобто необхідна товщина шару теплоізоляції може бути визначена лише після врахування впливу всіх теплопровідних включень та вузлів сполучення огорожувальних конструкцій (використовуючи розрахункові формули (6), (7), якщо є відомими лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі для даної конструкції, або за результатами розрахунку двомірних та тримірних температурних полів розглядуваних конструкцій).

**Висновки та перспективи використання результатів дослідження.** В даній роботі проведено аналіз впливу теплопровідних включень та інших конструктивних елементів на приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Зокрема визначено вплив зовнішнього кута будинку на приведений опір теплопередачі прилеглих стін. В результаті математичного моделювання процесу теплопереносу через кутову частину зовнішньої стіни будинку та подальшого чисельного розв'язування крайової задачі показано, що приведений опір теплопередачі зменшується порівняно з



аналогічної гладкою стіною. Тому для коректного визначення товщини теплоізоляції термічно неоднорідних зовнішніх огорожувальних конструкцій необхідно враховувати вплив теплопровідних включень, застосовуючи відповідні розрахункові формули (якщо відомі лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі), або розраховуючи двомірні або тримірні температурні поля відповідних конструкцій, застосовуючи при цьому відповідні комп'ютерні програми.

Перспективи подальших розвідок у даному науковому напрямку полягають у визначенні за допомогою комп'ютерного моделювання значень лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі типових теплопровідних включень та вдосконалення інженерної методики розрахунку приведенного опору теплопередачі неоднорідних огорожувальних конструкцій будинків.

#### Список використаної літератури

1. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний від 01-04-2007]. – К.: Мінбуд. України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебное пособие / В.Н.Богословский. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
3. Кувшинов Ю.Я. Методика расчёта трёхмерного температурного поля наружных стен с осесимметричными теплопроводными включениями / Ю.Я.Кувшинов, Е.Г. Малявина // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 5. – С. 66-70.
4. Самарин О.Д. Расчёт трёхмерного температурного поля наружных стен с гибкими связями / О.Д. Самарин // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 10. – С.17-20.
5. Колесник Є.С. Визначення товщини теплоізоляційного шару зовнішніх стін монолітно-каркасних будинків за критерієм допустимої величини приведенного опору теплопередачі / Є.С. Колесник // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 41. – С. 132-139.
6. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н В.1.1 – 27:2010. – [Чинний від 01.11.2011]. – К.: Держстандарт України, 2011. – 132 с. – (Національні стандарти України).

Стаття надійшла до редакції 20.09.2013

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри електромеханічних систем КНУТД Злотенко Б.М.

**Моделирование влияния термических неоднородностей на приведенное сопротивление теплопередаче внешних ограждающих конструкций зданий**

Кузнецова Е.А.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

В статье выполнен анализ влияния термических неоднородностей, в частности внешнего угла стеновой конструкции здания, на теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Рассмотрена математическая модель теплопереноса через внешний угол здания с последующим решением задачи с применением компьютерной техники. Определено значение приведенного сопротивления теплопередаче рассматриваемого фрагмента внешнего ограждения здания.

**Ключевые слова:** приведенное сопротивление теплопередаче, термическая неоднородность, теплоперенос, теплопроводное включение.

**The simulation of the influence of thermal non-uniformities on resistance to heat transfer of building envelopes**

Kuznetsova E.

*Kyiv National University of Technologies & Design*

The analysis of the influence of thermal non-uniformities, an external wall corner in particular, on thermal performance of building envelopes was performed in the article. The mathematical model of heat transfer through the external corner of a building with subsequent computer solving of the problem was considered. The value of effective resistance to heat transfer of the considered fragment of the building envelope was determined.

**Keywords:** thermal resistance, thermal non-uniformity, thermal bridge.

УДК 536.24

Н.В. КУЛИКОВА, А.А. РЕДЬКО

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

**УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ**

**АГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ**

**ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ**

*В статье рассмотрена методика теплового расчета теплообменника на тепловых трубах с глубоким охлаждением продуктов сгорания котельной установки и конденсацией водяного пара. Приведены результаты численного исследования распределений температуры и давлений теплоносителей (продуктов сгорания и нагреваемой воды) по длине противоточного теплообменника*

**Ключевые слова:** теплоутилизатор; тепловые трубы; теплоноситель, котельная установка

В настоящее время одним из основных путей экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в коммунальной энергетике является повышение эффективности их использования путем утилизации тепла уходящих газов [1, 10].