

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій**

**Бакалаврська робота на тему**

**«Розробка моделі оптимального вибору  
теплоізоляційних будівельних матеріалів»**

Виконав: ст. гр. ЕКБ-41  
Петренко М.С.  
Керівник: Бондаренко Д.О.

Харків 2019

**Метою** бакалаврської роботи є постановка та розв'язання оптимізаційної задачі зведення теплоізоляції огорожуючих конструкції цивільних споруд для забезпечення ефективного енергозбереження

**Об'єкт дослідження** – теплоізоляція будівель як невід'ємна складова сучасного підходу до енергозбереження.

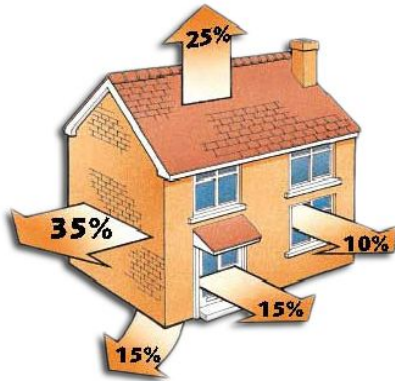
**Предмет дослідження** – математичні моделі для розв'язання задач визначення оптимальної товщини теплоізоляційного шару.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні **завдання:**

- обґрунтувати необхідність використання теплоізоляції будівельних споруд;
- дослідити основні архітектурно-конструктивні рішення стін споруд, що утеплюються;
- проаналізувати існуючі способи устрою теплоізоляції стін будівель;
- дослідити механізм математичної постановки задачі дослідження;
- визначити основні принципи математичного моделювання технічної системи;
- визначити основні методи побудови математичних моделей об'єктів дослідження і проектування; дослідити їх перевірку на адекватність;
- сформулювати та розв'язати задачу визначення оптимальної товщини теплоізоляційного шару.

# ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

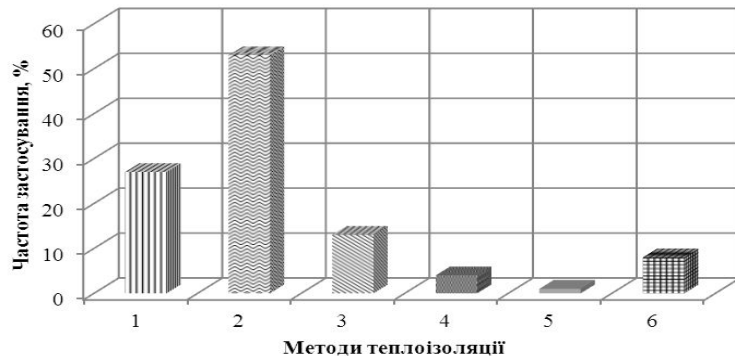
Схема теплових витрат житлового будинку



Термофотографії будівель, що вказують на зони підвищеної втрати теплової енергії



Частота застосування різних методів улаштування теплоізоляції зовнішніх стін існуючих будівель



- 1 – вентиляований фасад; 2 – скріплена теплоізоляція;  
3 – внутрішня теплоізоляція; 4 – колодязна кладка;  
5 – фарбувальна теплоізоляція; 6 – інші способи

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

## Схема досліджень з використанням математичних методів

Принципи, на яких базується застосування математичних методів при розробці і дослідженні технічних систем

Декомпозиція початкової задачі на систему взаємозв'язаних задач з подальшим застосуванням методів системного аналізу

Застосування методів математичного моделювання для опису процесів в технічних системах

Застосування теорії оптимального управління і імітаційного моделювання на завершальному етапі дослідження

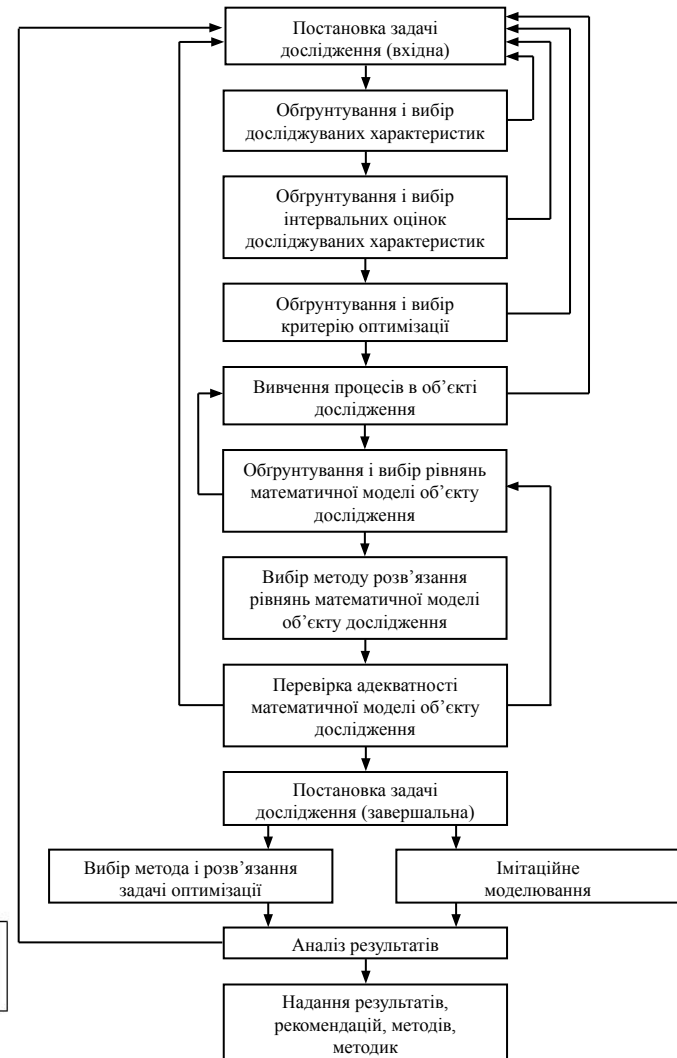
Застосування сучасного інформаційного забезпечення і засобів обчислювальної техніки для реалізації розв'язання задач розробки і дослідження

Методи побудови математичних моделей технічної систем

Експериментальний

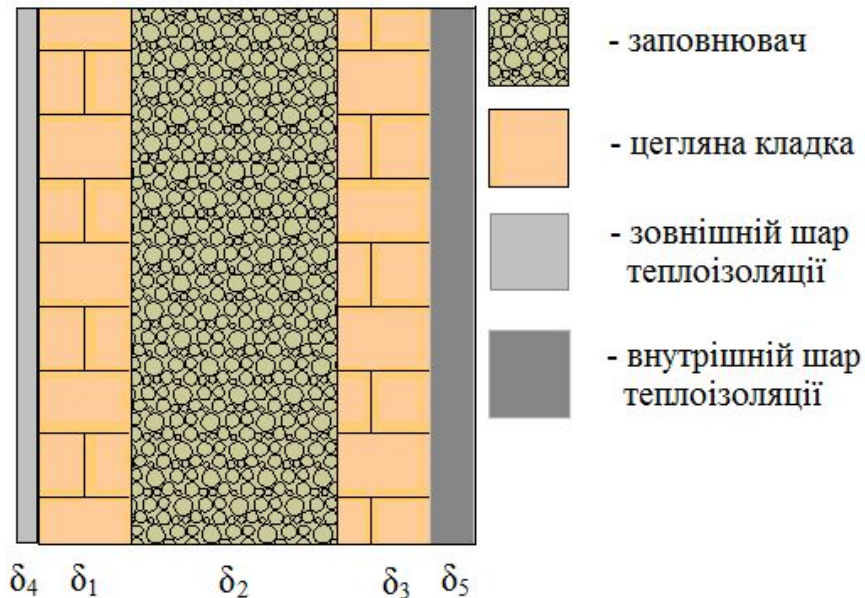
Аналітичний

Експериментально-аналітичний



# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

Схема огорожуючої конструкції стіни.



Основні вхідні дані:

- товщина шарів стіни, мм:  $\delta_1=120$ ,  $\delta_2=270$ ,  $\delta_3=120$ ,  $\delta_4=30$  (60);
- коефіцієнт теплопровідності шарів, ккал/кг·град:  $\lambda_1=0,7$ ,  $\lambda_2=0,18$ ,  $\lambda_3=0,7$ ,  $\lambda_4=0,09$ ,  $\lambda_5=0,07$ ;
- коефіцієнт термічного опору шарів:  $R_1=0,17$ ,  $R_2=1,5$ ,  $R_3=0,17$ ,  $R_4=0,18$ ;
- температура повітря всередині приміщення,  $t_{\text{вв}} = 18$  °С.

Значення річних приведених втрат розраховується за формулою:

$$Z = \frac{K}{T} + Q$$

де  $Z$  – розмір річних приведених втрат, грн/рік;

$K$  – вартість матеріалів та улаштування теплоізоляційного шару, грн;

$Q$  – річні тепловитрати крізь  $1\text{ м}^2$  огорожуючої конструкції, грн/рік;

$T$  – гарантійний термін експлуатації, років

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

Річні тепловитрати розраховуються за формулою:

$$Q = \left( \frac{\Delta t_z}{\sum_{j=1}^5 R_j} \right) \cdot n \cdot \tau_z, j = \overline{1,5}$$

де  $Q$  – річні тепловитрати кризь  $1\text{ м}^2$  огорожуючої конструкції, грн/рік;  
 $\tau_z$  – кількість годин протягом опалювального сезону, ч;  
 $\Delta t_z$  – різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $R_j$  – коефіцієнт термічного опору,  $j=1,5$ ,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ ;  
 $n$  – коефіцієнт згідно СНіП II-3-79.

Коефіцієнт термічного опору  $R_{\text{заг}}$  стіни розраховується за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \sum_{j=1}^j R_j \cdot n, j = \overline{1,5}, \quad \text{де } n - \text{коефіцієнт згідно СНіП II-3-79}$$

Коефіцієнт термічного опору розраховується за формулою:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad \text{де } \delta - \text{товщина шару};$$

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності шару

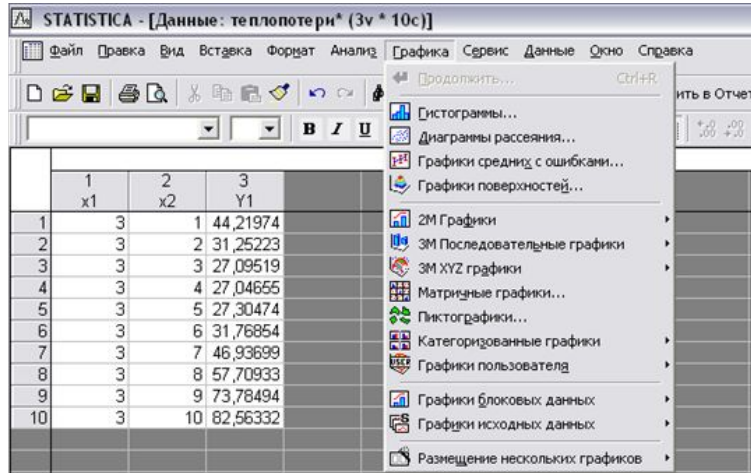
**Математична постановка задачі має вигляд:**

$$Z = \frac{K}{T} + Q \rightarrow \min. \quad \text{при обмеженнях} \quad \begin{cases} R \geq 2,8; \\ \delta_s \geq 1; \\ \delta_s \leq 10; \\ \delta_s - \text{целое.} \end{cases}$$

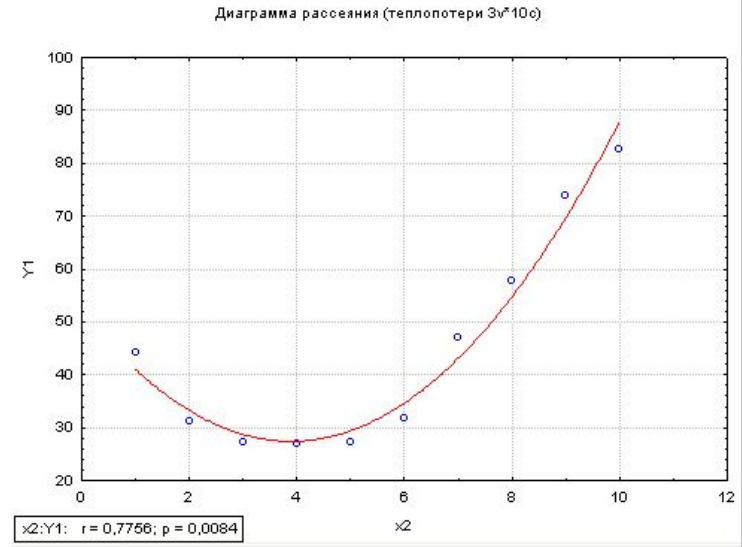


# РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

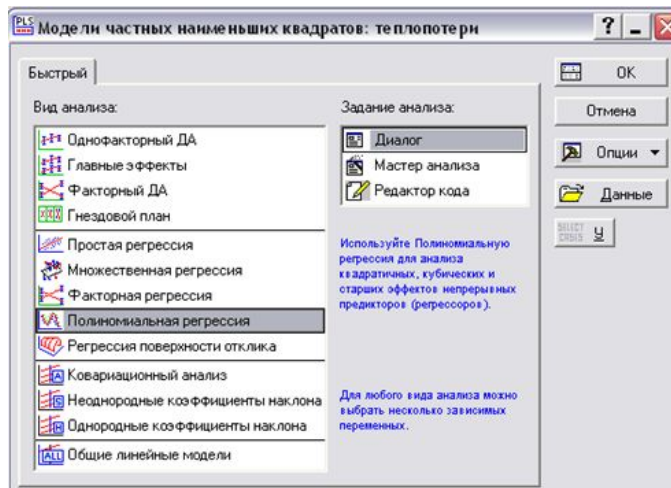
Вхідні дані та вигляд меню для графічного представлення даних в пакеті Statistica 6.0



Діаграма розсіювання



Вибір поліноміальної регресії для аналізу даних



Результати аналізу для  $Y_1$

Итоги PLS (теплопотери)

Отклики: Y1

Опции: Без св. члена Автомасштаб

	Увелич. R2 по Y	Среднее R2 по Y	Увелич. R2 по X	Среднее R2 по X
Comp 1	0,711631	0,711631	0,987218	0,987218
Comp 2	0,262002	0,973633	0,012782	1,000000

Коефіцієнти регресії для  $Y_1$

Кoeffициенты регрессии PLS (теплопотери)

Отклики: Y1

Опции: Без св. члена Автомасштаб

	Св. чл.	x2	x2^2
Y1	51,94429	-12,6096	1,620168

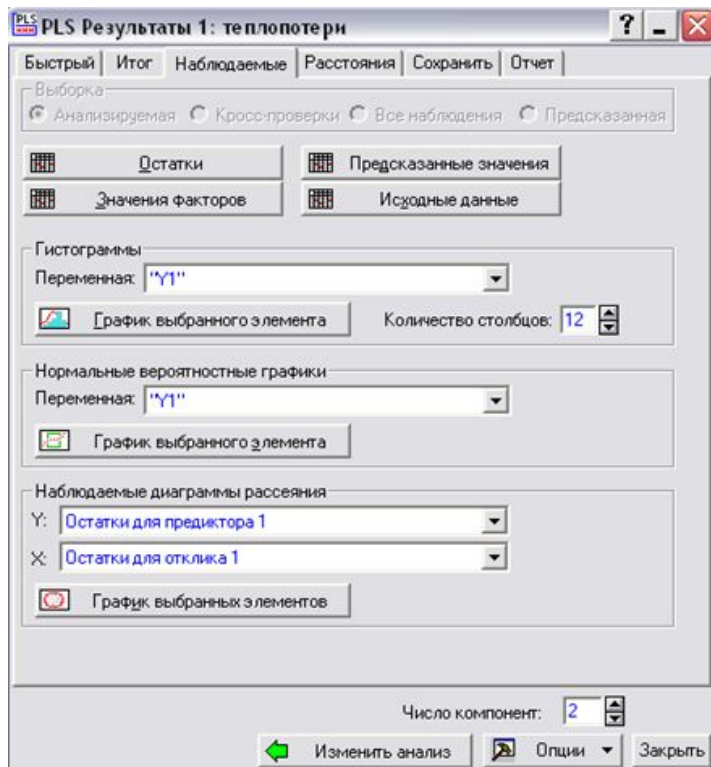


# РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

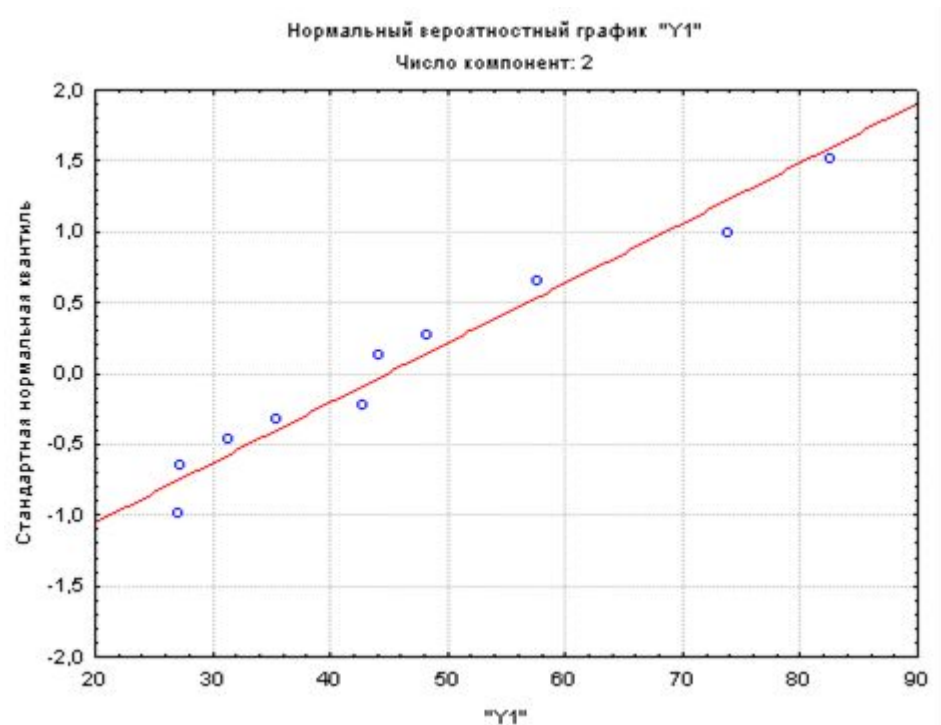
Рівняння регресії має вигляд:

$$Y_1 = 1,62 x_2^2 - 12,61 x_2 + 51,94$$

Вікно для оцінки залишків моделі



Графік розподілу залишків на нормальному вірогіднісному папері



# РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

Результати аналізу для  $Y_2$

Итоги PLS (теплопотери)				
Отклики: Y1				
Опции: Без св. члена Автомасштаб				
	Увелич. R2 по Y	Среднее R2 по Y	Увелич. R2 по X	Среднее R2 по X
Comp 1	0,718773	0,718773	0,987220	0,987220
Comp 2	0,255297	0,974070	0,012780	1,000000

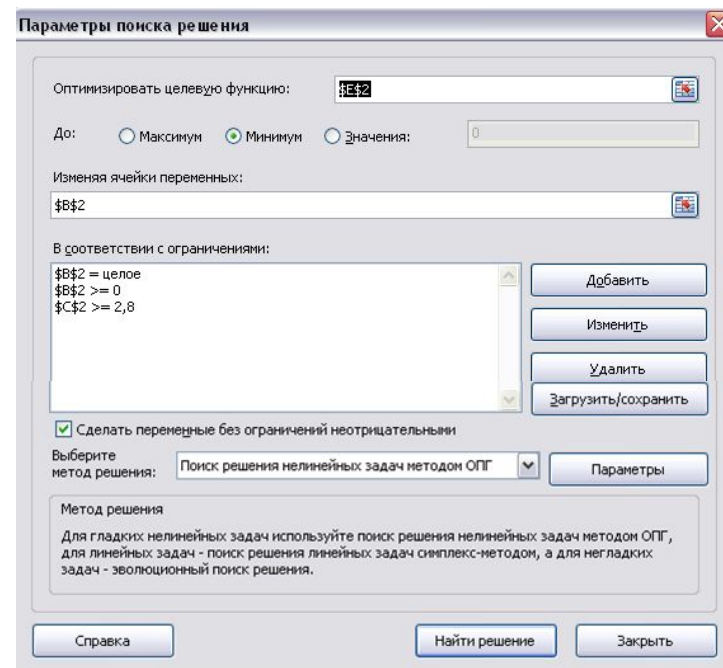
Коефіцієнти регресії для  $Y_2$

Кoeffициенты регрессии PLS (теплопотери)				
Отклики: Y1				
Опции: Без св. члена Автомасштаб				
	Св.чл.	$x_2$	$x_2^2$	
Y1	50,67023	-12,4839	1,615224	

Рівняння регресії має вигляд:

$$Y_2 = 1,62 x_2^2 - 12,48 x_2 + 50,67$$

Вікно «Поиск решения» для пошуку оптимального значення цільової функції



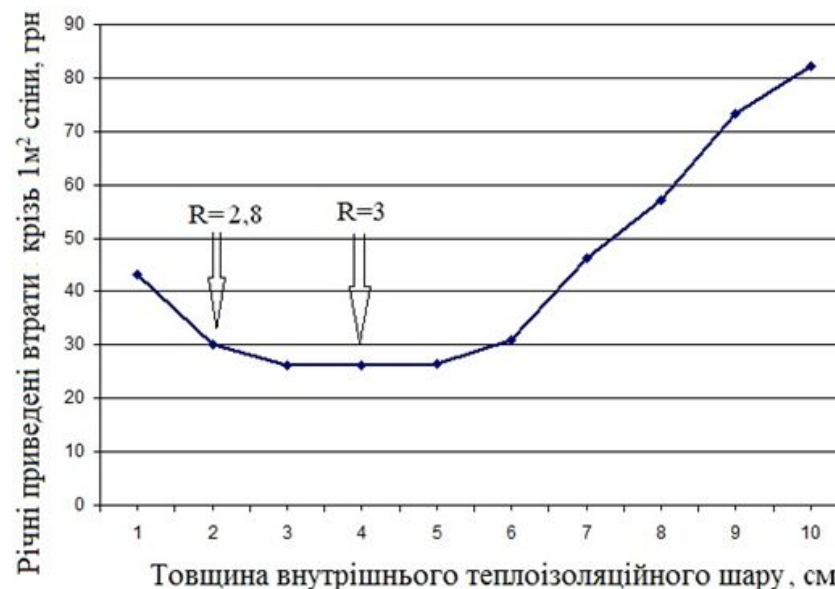
# РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ШАРУ

Результат пошуку оптимального значення цільової функції

	A	B	C	D	F
1	Товщина зовнішнього теплоізоляційного шару (X1), см	Товщина внутрішнього теплоізоляційного шару (X2), см		Коефіцієнт термічного опору, R	Річні приведені втрати (Y1), грн/м <sup>2</sup>
2	6	4		3,088095238	26,67
3					

Колонка B (значення 4) позначена як "Комірка результату роботи Пошуку".

Залежність річних приведених втрат від товщини внутрішнього теплоізоляційного шару



# ВИСНОВКИ

- обґрунтовано необхідність використання теплоізоляції будівельних споруд;
- досліджено основні архітектурно-конструктивні рішення стін споруд, що утеплюються;
- проаналізовано існуючі способи устрою теплоізоляції стін будівель;
- досліджено механізм математичної постановки задачі дослідження;
- визначено основні принципи математичного моделювання технічної системи;
- визначено основні методи побудови математичних моделей об'єктів дослідження і проектування; досліджено їх перевірку на адекватність;
- сформульовано та розв'язано задачу визначення оптимальної товщини теплоізоляційного шару.

Дякую за увагу!