

## Висновки

Запропоновані модифікації повністю відповідають стійкості до дешифрування алгоритму RSA і забезпечують при правильному підборі ключа практично повну зашумленість зашифрованого зображення, що унеможлиблює отримання з нього будь-якої інформації без дешифрування.

1. Шнайдер Б. Прикладная криптография. – М.: Триумф, 2003. – 816 с. 2. Рашкевич Ю., Ковальчук А., Пелешко Д. Проективні відображення першого порядку в шифруванні і дешифруванні зображень з елементами алгоритму RSA // *Технічні вісті*. – 2009/№1(29), 2(30). – С. 41 – 44. 3. Рашкевич Ю.М., Ковальчук А.М., Пелешко Д.Д. Афінні перетворення в модифікаціях алгоритму RSA шифрування зображень. – Львів: ААЕКС, 2009/№2. 4. Рашкевич Ю.М., Пелешко Д.Д., Ковальчук А.М., Пелешко М.З. Модифікація алгоритму RSA для деяких класів зображень // *Технічні вісті*. – 2008/1(27), 2(28). – С. 59 – 62.

УДК 004.832.3:004.838.2

Р. Ткаченко, М. Машевська, Н. Кіцак  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автоматизованих систем управління

## ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЕРА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

© Ткаченко Р., Машевська М., Кіцак Н., 2011

Розглянуто основні зовнішні фактори, що впливають на тепловий мікроклімат у приміщенні. Описано процес побудови нечіткої моделі для прогнозування параметрів мікроклімату. Показано результати використання контролера нечіткої логіки для вирішення задачі прогнозування. Побудовано математичну модель для поставленої задачі на основі регресійного аналізу.

**Ключові слова:** нечітка модель, рівняння регресії, кліматичні фактори, параметри мікроклімату

**Basic external factors which influence on a thermal microclimate in an apartment are considered. The process of creation of the fuzzy-model for prognostication of parameters of the microclimate is described. The results of the use of fuzzy controller for the task of prognostication are shown. A mathematical model for the described problem by the regressive analysis is built.**

**Keywords:** fuzzy-model, regression model, climatic factors, microclimate parameters

### Вступ

Одним з напрямків реалізації програми доступного житла в Україні є забезпечення відповідного рівня комфорту проживання населення. Для покращання якості життя в „замкнутому просторі” необхідно вибирати такі параметри та конструктивні рішення будівлі, що забезпечують оптимальний рівень мікроклімату.

Сьогодні, враховуючи відсутність та значні проблеми, що виникають при побудові математичними методами точної та повної аналітичної моделі для розрахунку та прогнозування значень параметрів мікроклімату, доцільно як альтернативу використати засоби нечіткої логіки.

Використання відповідного контролера дасть змогу розрахувати ці параметри на основі знань про предметну область без їх формалізації у вигляді математичних моделей. Процес побудови нечіткої моделі та тестування контролера нечіткої логіки і є метою досліджень.

### Постановка проблеми

Для забезпечення відповідного рівня теплового мікроклімату необхідно враховувати, що людина відчуває не температуру повітря в приміщенні, а втрату тілом тепла. До фізичних факторів, що впливають на теплову рівновагу, належать: температура повітря в приміщенні, середня температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, швидкість руху повітря та вологість повітря.

Комфортні (або оптимальні) умови проживання насамперед визначаються правильним поєднанням середньої температури внутрішньої поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції (ЗОК) і температури повітря в приміщенні. Необхідного рівня температури повітря можна досягти додатковим опалюванням або кондиціонуванням приміщень, натомість регулювати температуру поверхні ЗОК є доволі складно. Великий перепад між значеннями цих двох показників призводить до відчуття людиною дискомфорту в приміщенні. Температуру поверхні стіни можна виміряти за допомогою спеціального обладнання, але на етапі проектування цей метод неможливо застосувати. Також можна розрахувати температуру внутрішньої поверхні ЗОК відповідно до закону стаціонарної теплопередачі [1, 2]. Проте отримане значення не може розглядатись як цілком істинне, оскільки існує математичне співвідношення не враховує впливу на ЗОК інших кліматичних факторів, окрім температури зовнішнього повітря. Додатковими чинниками, що зовні впливають на конструкцію будівлі залежно від її орієнтації по сторонах світу, є інтенсивність сонячної радіації, швидкість та напрям вітру. Характер такого впливу залежить від теплоізоляційних параметрів самої конструкції. Чим більшим є коефіцієнт теплопровідності, тим сильніше температура внутрішньої поверхні ЗОК і тепловий комфорт приміщень залежатимуть від зовнішніх факторів. В процесі проектування житлової будівлі потрібно враховувати кліматичні характеристики території, на якій проводиться будівництво, для зменшення негативного впливу цих факторів на споруду. Співвідношення параметрів мікроклімату потрібно правильно прогнозувати ще на етапі проектування будівлі та контролювати в процесі експлуатації.

### Оцінка зовнішніх чинників

Система внутрішньої терморегуляції дає людині змогу пристосовуватись до змін теплових умов, але тільки за невеликого інтервалу температур. Велике значення для збереження теплового балансу людини має радіаційна температура приміщення, або середня температура поверхонь в приміщенні. За наявності холодних поверхонь, тобто великої різниці між температурами тіла людини і зовнішніх конструкцій, відбувається швидке охолодження тіла. У цьому випадку людина відчуватиме дискомфорт. Інтенсивність віддачі тепла з поверхні тіла зумовлена конвекційним теплообміном, на який впливає температура повітря, та радіаційним теплообміном, який визначають температура, розміри та розташування охолоджених або перегрітих поверхонь. Оптимальними умовами є рівність температур приміщення і внутрішніх поверхонь ЗОК. Проте взимку без додаткового обігрівання внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій з недостатньою теплоізоляцією таку умову зазвичай важко забезпечити. Максимальний перепад між температурою повітря в приміщенні та усередненою температурою внутрішніх поверхонь конструкцій стін житлових будівель складає 4°C [3].

Усереднена температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій обчислюється за формулою:

$$t_{en} = \frac{F_{nc} t_{nc} + F_{ne} t_{ne}}{F_{нок}}, \quad (1)$$

де  $t_{en}$  – усереднена температура внутрішньої поверхні конструкцій, °C;  $t_{nc}$ ,  $t_{ne}$  – температури внутрішньої поверхні стін і вікон, відповідно, °C;  $F_{нок}$  – площа поверхні зовнішньої

огороджувальної конструкції,  $m^2$ ;  $F_{nc}$  і  $F_{nv}$  – площі поверхонь зовнішніх стін та вікон, відповідно ( $F_{nc} = F_{пок} - F_{nv}$ ),  $m^2$ .

На тепловий баланс будівлі впливає характер зовнішньої кліматичної зони, форма та орієнтація будівлі по сторонах світу. Наприклад, вдалий вибір орієнтації і розмірів будинку дає можливість зменшити вплив вітру та оптимізувати вплив сонячної радіації на його тепловий баланс. Так, за рахунок дії сонячної радіації в будівлю може надходити 4% від загальних теплових надходжень. Це значення залежить від показника відкритості території, переважаючої орієнтації будинку та від коефіцієнта поглинання сонячної радіації матеріалом поверхні ЗОК. Системою опалення забезпечується 20 % надходжень тепла. Натомість, за умови поганої теплоізоляційної характеристики ЗОК крізь стіни втрачається 20 %, а крізь вікна і двері – 15 % тепла. Якщо теплоізоляційні властивості конструкції не відповідають вимогам, спостерігається прямий взаємозв'язок між температурами зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни. Відповідно до вимог [3], розрахунковий опір теплопередачі огорожувальної конструкції житлових будинків повинен бути більшим від мінімально допустимого значення ( $R_0 > R_{q \min}$ ). Для Львівської області, що знаходиться у 2 кліматичній зоні,  $R_{q \min} = 2,5 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ .

Процес побудови математичної моделі для прогнозування параметрів теплового мікроклімату в приміщенні передбачає розроблення нечіткої моделі розрахунку температури внутрішньої поверхні ЗОК. При побудові математичного співвідношення на основі нечіткої моделі входними змінними були вибрані кліматичні та внутрішні чинники приміщення, що найбільшою мірою впливають на значення температури внутрішньої поверхні ЗОК, що і є вихідною змінною.

### Побудова нечіткої моделі

Беручи до уваги можливості збирання інформації, що описує цю проблему, можна зазначити деякі моменти, що ускладнюють успішне розв'язання поставлених завдань на основі традиційних підходів математичного, інформаційного або нейронечіткого моделювання. Зокрема, наявні математичні моделі зачіпають лише окремі сторони об'єкта моделювання, не надаючи можливості його комплексного дослідження. Експертні висновки, які можливо застосувати для нейронечіткого моделювання, можуть бути деякою мірою суперечливі, неточні, а результати їх застосування незручні для реальних користувачів-розробників проектної документації. В деяких випадках доступними є окремі дані, що показують зв'язки між окремими характеристиками архітектурного вирішення та параметрами мікроклімату, однак не представляють вичерпної картини взаємозалежностей. У статті описано комплексний підхід до побудови засобів прогнозування параметрів мікроклімату, що ґрунтується на використанні синтетичної інформації, отриманої одночасно за допомогою імітаційного моделювання, експериментальних даних та висновків кваліфікованих експертів. Технологію побудови відповідних моделей подано на рис. 1.

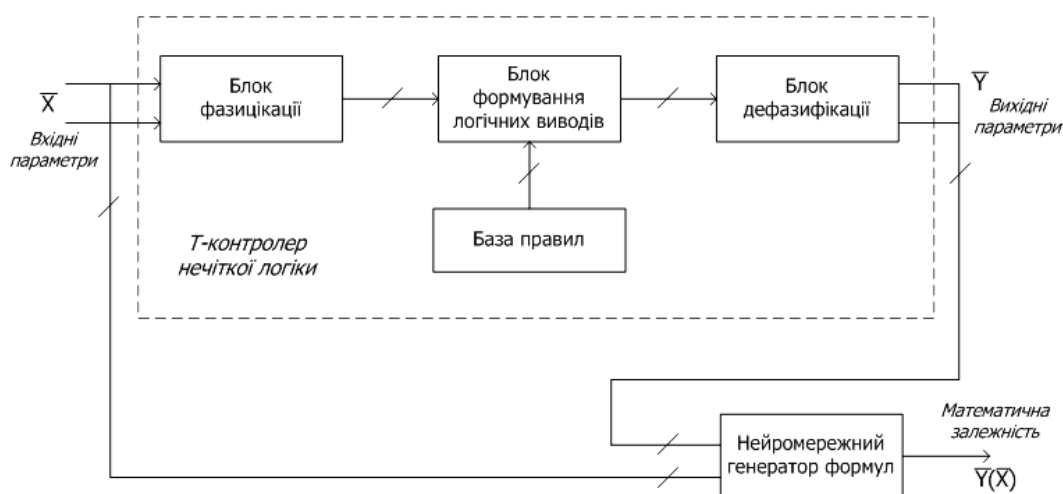


Рис. 1. Структурна схема моделей

Базовим елементом структурної схеми є Т-контролер нечіткої логіки, в якому використовується метод дефазифікації, побудований за нейроподібною структурою машини геометричних перетворень [4]. Перевагою цього контролера є підвищена точність функціонування і можливість розв'язання завдань із багатьма вхідними параметрами. На відміну від традиційних засобів нечіткої логіки, в Т-контролері використовується дещо змінена форма подання правил логічних виводів. Вихідний параметр (Y) розділяється на суміжні рівні, за величиною кожен з них відповідатиме певній дез'юнктивній формі. Наприклад,

у є мале, якщо  $x_1$  є мале, і  $x_2$  є середнє, і  $x_3$  є мале або,  
якщо  $x_2$  є мале, і  $x_3$  є мале ...

#### Формування правил логічних виводів для поставленої задачі

На етапі розроблення моделі на основі нечіткої логіки було введено лінгвістичні змінні, вибрано базові терм-множини, побудовано відповідні функції належності, сформульовано набір експертних оцінок.

У процесі побудови моделі введено такі лінгвістичні змінні, як температура всередині приміщення ( $T_{in}$ ), зовнішня температура (або температура зовнішнього повітря) ( $T_{out}$ ), опір теплопровідності огорожувальної конструкції (R), швидкість вітру ( $V_w$ ), інтенсивність впливу сонячної радіації ( $S_{inf}$ ) та коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею ЗОК [5] (coef), а також вихідна змінна – температура внутрішньої поверхні ЗОК ( $T_{surf}$ ).

Для кожної введеної лінгвістичної змінної сформовано базову терм-множину. Зокрема, для змінної "зовнішня температура" така множина буде складатися із чотирьох термів: "мороз", "холодно", "тепло", "спека". Чіткі значення змінної "зовнішня температура" вибрані відповідно до кліматичних особливостей Львівської області залежно від пори року. Терми „холодно” і „тепло” характеризують усереднені значення температурного режиму осіннього та весняного періодів, відповідно. Натомість, терми „мороз” і „спека” відображають, відповідно, середні значення мінімальних взимку та максимальних влітку температур повітря.

У процесі формування терм-множин для кожної лінгвістичної змінної було враховано кліматичні особливості території та розрахункові значення параметрів відповідно до норм [3].

У процесі моделювання будується трикутна функція належності для кожного лінгвістичного терму із базової терм-множини.

Побудова експертних правил для Т-контролера нечіткої логіки відрізняється від класичного підходу, за яким правила представляють всі можливі поєднання входів. Наприклад, відповідно до введених лінгвістичних змінних, за класичним підходом [6] правила виглядають так:

якщо  $T_{in}$  є „холодно”, і  $T_{out}$  є „мороз”, і  $S_{inf}$  є „середній”, і coef є „малий”, то  $T_{surf}$  є „низька”,  
або

якщо  $T_{in}$  є „холодно”, і  $T_{out}$  є „холодно”, і  $V_w$  є „помірний”, і  $S_{inf}$  є „середній”, і R є „високий”,  
то  $T_{surf}$  є „низька”, або

....

Натомість, для використаного контролера ці ж правила представляються у такому вигляді:

$T_{surf}$  є „низька”,

якщо  $T_{in}$  є „холодно”, і  $T_{out}$  є „мороз”, і  $S_{inf}$  є „середній”, і coef є „малий” або

якщо  $T_{in}$  є „холодно” і  $T_{out}$  є „холодно”, і  $V_w$  є „помірний”, і  $S_{inf}$  є „середній”, і R є „високий”

або

....

Інша конструкція представлення експертних оцінок дає змогу легше отримати правила для більшого числа змінних.

У Т-контролер опис розробленої нечіткої моделі подається у вигляді сформованого xml-файла, в якому визначаються усі лінгвістичні змінні з їх базовими терм-множинами та чіткими значеннями відповідних термів, а також правила логічних виводів. У xml-файлі, що описує поставлену задачу, правила визначаються такою конструкцією:

<rule signal="Tsurf[medium]" value="x1[cl] and x2[f] and x3[li] and R[h] or  
 x1[n] and x2[f] and x3[li] and R[m] or  
 x1[c] and x2[h] and x3[md] and R[l] or  
 ...  
 x1[w] and x2[c] and x3[fr] and R[m] or  
 x1[w] and x2[w] and x3[md] and (x4[low] or x4[med] and x5[low]) and R[l]"/>

### Застосування Т-контролера для формування таблиці залежностей

Для зручного застосування Т-контролера нечіткої логіки було розроблено програмний інтерфейс (рис. 2). Для початку роботи потрібно завантажити відповідний xml-файл. Правила в xml-файлі повинні бути повними та несуперечливими. Є два режими отримання залежностей вихідного параметра від незалежних факторів: одинична оцінка та формування таблиці. Одинична оцінка передбачає внесення потрібних вхідних значень та отримання результату на відповідній вкладці вікна програмного інтерфейсу. Для формування таблиць залежностей потрібно завантажити Excel-файл типу CSV з вхідними значеннями тестової матриці. Порядок змінних в Excel-файлі повинен збігатися з послідовністю їх оголошення в xml-файлі. Після запуску Т-контролера відповідний стовпець результату буде заповнений розрахованими вихідними значеннями. Отримана таблиця залежностей може бути збережена в Excel-файл типу CSV і використана наступного разу.

Вхідні значення при побудові тестової матриці для поставленої задачі взяті на основі спостережень протягом року за кількома реальними житловими будівлями, а також прогнозованих значень відповідних параметрів.

x1	x2	x3	x4	x5	R	Tsurf
18	3	1,7	1	0,45	1,9	14,03798551985...
17	20	2,5	1	0,7	0,8	17
19	-15	3,4	1	0,6	2,7	17,11102661868...
20	4	1,3	1	0,3	1,55	15,13874719010...
19	-5	6,3	0,5	0,6	1,9	11,58550845185...
18	-8	1,3	0	0,7	2,6	17,14285714285...
18	22	9,4	1	0,6	0,65	19,83797761874...
17	-15	2,5	1	0,7	1,9	12,22267581426...
14,5	4	12,5	0,5	0,7	2,11	11,30092424328...
20	-17	3,4	0	0,7	2,05	15,03130605065...
19	-5	13,4	1	0,3	2,7	14,71428571428...
20	7,5	9,35	0,5	0,7	1,9	13,98274687471...

Рис. 2. Результати роботи контролера

На рис. 2 показано значення вихідної змінної  $T_{surf}$  (температури внутрішньої поверхні ЗОК) залежно від певних значень вхідних змінних. Так, коли температура повітря в приміщенні дорівнюватиме 19 °С; зовнішня температура – -15 °С; швидкість вітру – 3.4 м/с; інтенсивність впливу сонячної радіації – 1, тобто велика (наприклад, при південній орієнтації ЗОК); коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею ЗОК – 0.6; опір теплопровідності дорівнює 2.7 м<sup>2</sup>°С/Вт, – то прогнозоване значення температури внутрішньої поверхні ЗОК становитиме приблизно 17 °С.

### Побудова математичної моделі

За допомогою Т-контролера нечіткої логіки було сформовано таблицю залежностей вихідного параметра (температури внутрішньої поверхні ЗОК) від вибраних вхідних факторів, а саме, зовнішньої та внутрішньої температур, швидкості вітру, інтенсивності впливу сонячної радіації, коефіцієнта поглинання сонячної радіації поверхнею ЗОК та значення опору теплопровідності зовнішньої огорожувальної стіни. На основі отриманих числових залежностей потрібно побудувати математичне співвідношення, яке б дало змогу відповідно до значень

незалежних показників отримувати оцінки значень залежного параметра, тобто температури внутрішньої поверхні зовнішньої стіни. Отримати відповідну залежність можна на основі регресійного аналізу. В нашому випадку ми маємо справу з множинною лінійною регресією, параметри рівняння якої оцінюються методом найменших квадратів.

Для побудови математичної моделі у вигляді багатофакторного лінійного полінома (2) необхідно визначити його коефіцієнти.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + e, \quad (2)$$

де  $Y$  – вектор результуючих значень;  $X_1 \dots X_n$  – вектори вхідних параметрів;  $A^T = (a_0 \ a_1 \ \dots \ a_n)$  – вектор коефіцієнтів рівняння регресії;  $e$  – випадкова величина.

Визначити коефіцієнти рівняння регресії за методом найменших квадратів можна із виразу (3):

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3)$$

Коефіцієнти рівняння з виразу (3) були визначені за допомогою вбудованих функцій регресійного аналізу програмного середовища MathCad. Дані вхідної матриці та вектора вихідних значень зчитуються з файлів, відповідно, *inputs.prn* та *output.prn*. Послідовність команд для отримання вектора коефіцієнтів рівняння регресії є наступною:

$X := \text{READPRN}("d \setminus \text{inputs.prn"} )$

$Y := \text{READPRN}("d \setminus \text{output.prn"} )$

$Z := \text{regress}(X, Y, 1)$

$\text{fit}(x) := \text{interp}(Z, X, Y, x)$

$A := \text{submatrix}(Z, 3, \text{length}(A) - 1, 0, 0)$

У результаті виконання алгоритму було отримано такий вектор коефіцієнтів:

$$A^T = (-4.303 \ 0.994 \ 0.17 \ -0.12 \ 0.36 \ -0.532 \ 0.863)$$

Згідно з отриманими значеннями вектора  $A$ , математичне співвідношення запишемо так:

$$Y = -4.303 + 0.994X_1 + 0.17X_2 - 0.12X_3 + 0.36X_4 - 0.532X_5 + 0.863X_6, \quad (4)$$

де  $Y$  – вектор результуючих значень (температур внутрішньої поверхні ЗОК –  $T_{\text{surf}}$ );  $X_1 \dots X_6$  – вектори вхідних параметрів (відповідно,  $T_{\text{in}}$ ,  $T_{\text{out}}$ ,  $V_w$ ,  $S_{\text{inf}}$ , coef, R).

Для перевірки загальної якості рівняння багатофакторної регресії використовують коефіцієнт детермінації. Відповідно до значення цього коефіцієнта можна робити висновок, наскільки добре емпіричне рівняння регресії узгоджується зі статистичними даними [7].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum e_i^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (5)$$

де  $R^2$  – коефіцієнт детермінації;  $(y_i - \bar{y})$  – відхилення  $i$ -ї спостережуваної точки від середнього значення  $\bar{y}$  залежної змінної  $Y$ ;  $e_i$  – відхилення  $i$ -ї точки від модельного значення  $\hat{y}_i$ , що визначається відповідно до лінії регресії.

Для знайденого рівняння множинної лінійної регресії  $R^2 = 0,827$ . Доволі високе значення коефіцієнта детермінації свідчить про достатньо тісну лінійну залежність між  $X$  і  $Y$ , а отже, і про високу загальну якість побудованого рівняння регресії.

Для перевірки адекватності багатофакторної регресійної моделі використовуємо  $F$ -критерій Фішера (7) [7]. Така перевірка передбачає відкидання нуль-гіпотези  $H_0$ , що має вигляд (6) і показує відсутність статистичної значущості сукупного впливу факторів  $X_1, X_2, \dots, X_n$  на залежну змінну  $Y$ .

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0, \quad (6)$$

де  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – коефіцієнти рівняння регресії.

$$F = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / m}{\sum e_i^2 / (n - m - 1)}, \quad (7)$$

де  $F$  – F-статистика Фішера з  $m$  та  $(n-m-1)$  степенями вільності;  $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / m$  – незміщена оцінка загальної дисперсії вектора результуючих значень;  $\sum e_i^2 / (n - m - 1)$  – незміщена оцінка залишкової дисперсії (відхилень точок спостережень від лінії регресії);  $m$  і  $n$  – кількість факторів у моделі і загальна кількість спостережень, відповідно.

Для побудованої регресійної моделі  $F = 66,25$ . За таблицями критичних точок розподілення Фішера при 95%-рівні довіри  $F_{кр} = 3,72$ . Оскільки,  $F > F_{кр}$ , то нуль-гіпотеза  $H_0$  відкидається. Отже, робимо висновок, що побудована множинна регресійна модель є адекватною.

### Висновки

Дотримання вимог до проектування та будівництва житлових будівель дасть змогу зменшити негативний вплив зовнішнього середовища на відчуття комфорту в приміщенні. Побудована модель нечіткої логіки враховує особливості впливу кліматичних факторів на теплові процеси, що відбуваються в зовнішніх стінових конструкціях будинку. Використаний T-контролер дає змогу на етапі проектування спрогнозувати температуру внутрішньої поверхні ЗОК відповідно до характеристики клімату території, вибраних конструктивних схем та матеріалів будівлі, а також її орієнтації по сторонах світу. За побудованою математичною залежністю можна розрахувати таку важливу складову теплового мікроклімату, як радіаційна температура житла чи окремого житлового приміщення залежно від факторів, що впливають на зовнішню огорожувальну конструкцію.

1. Ратушняк Г.С., Попова Г.С. *Проектування захисних конструкцій будівель за теплофізичними параметрами: Навчальний посібник.* – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 78с. 2. Блази В. *Справочник проектировщика. Строительная физика.* – М.: Техносфера, 2004. 3. ДБН В.2.6-31:2006 – *Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель.* 4. Ткаченко Р., Дорошенко А. *Нейроподібні структури машини геометричних перетворень у завданнях інтелектуального аналізу даних // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології.* – 2009. – С. 179–184. 5. Машевська М., Ткаченко П. *Побудова моделі оцінювання параметрів теплового комфорту на основі нечіткої логіки // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології.* – 2010. – № 686 – С. 91–96. 6. Яхьяева Г.Э., *Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие, 2-е изд., испр.* – М.: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 316 с.: ил., табл. – (Серия „Основы информационных технологий”). 7. Бородич С.А. *Вводный курс эконометрики: Учебное пособие.* – Мн.: БГУ, 2000. – 354 с.