

- лей : монографія [Текст] / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник; під заг. ред. С. О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.
2. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей : монографія [Текст] / [А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин]; под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботина. – Запорожье : ОАО «Мотор-Сич», 2009. – 468 с.
 3. Олійник, А. О. Еволюційні обчислення та програмування : навчальний посібник [Текст] / А. О. Олійник, С. О. Субботін, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2010. – 324 с.
 4. Dash, M. Feature selection for classification [Text] / M. Dash, H. Liu // Intelligent data analysis. – 1997. – №1. – P. 131–156.
 5. Hyvarinen, A. Independent component analysis [Text] / A. Hyvarinen, J. Karhunen, E. Oja. –New York : John Wiley & Sons, 2001. – 481 p.
 6. Lee, J. A. Nonlinear dimensionality reduction [Text] / J. A. Lee, M. Verleysen. – New York: Springer, 2007. – 308 p.
 7. Multifactor dimensionality reduction for detecting haplotype-haplotype interaction [Text] / Y. Jiang, R. Zhang, G. Liu [et al.] // Fuzzy systems and knowledge discovery : sixth international conference, 14–16 August 2009, Tianjin : proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2009. – P. 241–245.
 8. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2007. – 856 с.
 9. Mallat, S. A wavelet tour of signal processing: the sparse way [Text] / S. Mallat. – Waltham : Academic Press, 2008. – 832 p.
 10. Фор, А. Восприятие и распознавание образов [Текст] / А. Фор; под ред. Г. П. Катгса. – М. : Машиностроение, 1989. – 271 с.
 11. Forsyth, D. Computer vision: a modern approach [Text] / D. Forsyth, J. Ponce. – New Jersey : Prentice Hall, 2002. – 693 p.
 12. Subbotin, S. A. The training set quality measures for neural network learning / S. A. Subbotin // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19. – № 2. – P. 126–139.
 13. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks / [V. Dubrovin, S. Subbotin, S. Morshchavka,

- D. Piza] // Smart Engineering System Design. – 2001. – № 3. – P. 251–256.
14. Arcene data set [Electronic resource] / I. Guyon. – Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Arcene>.
 15. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей : монографія [Текст] / [В. И. Дубровин, С. А. Субботин, А. В. Богуслаев, В. К. Яценко]. – Запорожье : ОАО «Мотор-Сич», 2003. – 279 с.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2011.

Субботін С. О.
**КОНСТРУЙОВНІ ОЗНАКИ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ
 КЛАСИФІКАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНИХ У ЧАСІ СТАЦІОНАРНИХ
 СИГНАЛІВ**

Вирішено актуальне завдання автоматизації скорочення розмірності даних для побудови діагностичних і розпізнавальних моделей на основі стаціонарних одновимірних сигналів, розподілених у часі. Уперше запропоновано комплекс показників, які характеризують властивості сигналів, що дозволяє істотно скоротити опис об'єктів, які класифікуються. Проведено експерименти з дослідження запропонованого комплексу показників при вирішенні практичних задач.

Ключові слова: розпізнавання образів, технічне діагностування, ознака, стаціонарний сигнал, витяг ознак.

Subbotin S. A.
**CONSTRUCTED FEATURES FOR AUTOMATIC
 CLASSIFICATION OF STATIONARY TIMING SIGNALS**

The challenge for automation to reduce the dimension of the data has been solved for the construction of diagnostic and recognizing patterns, based on steady-state one-dimensional signals, distributed in time. The set of indicators characterizing the properties of the signals, which allows to reduce the description of the classified objects is firstly proposed. The experiments on studying of the proposed indicator set at practical problem solving s are conducted.

Key words: pattern recognition, technical diagnosis, feature, stationary signal, feature extraction.

УДК 004.832

Ткаченко Р. О.¹, Машевська М. В.²

¹Д-р техн. наук, професор Національного університету «Львівська політехніка»
²Аспірант Національного університету «Львівська політехніка»

НЕЙРОНЕЧІТКА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКА РІВНЯ БІОКОМФОРТУ

Описано процес розроблення математичних моделей за допомогою нейронечіткого моделювання. Розглянуто етапи побудови нечіткої моделі для оцінювання рівня біокомфарту житла.

Ключові слова: нейронечітка система, компактна модель, параметри біокомфарту.

ВСТУП

Оцінювання якості житла на основі показника рівня біокомфарту передбачає визначення відповідності

співвідношення значень основних параметрів середовища проживання до вимог щодо оптимальних умов для збереження здоров'я та рівноваги систем організму лю-

дини в моделі «людина – житлове середовище». Рівень біокомфарту визначається на основі теплових параметрів житлового середовища, показника природного освітлення, а також «фактора впливу» конструкції будинку на організм людини [1]. Тепловий рівень комфорту людини забезпечується оптимальним співвідношенням параметрів мікроклімату: температури повітря, температури внутрішніх поверхонь стін та відносної вологості повітря. Інтенсивність та характер впливу чинників житлового середовища на людину залежать від ступеня її чутливості до коливань значень параметрів біокомфарту та від показника режиму проживання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Задача оцінювання параметрів біокомфарту передбачає врахування ряду показників, які не можливо отримати прямими методами вимірювання або описати за допомогою імітаційного моделювання. В такому випадку доцільно використати методи нечіткого моделювання для представлення деяких параметрів за допомогою лінгвістичних змінних. В результаті підготовки даних для вирішення задачі оцінювання показника рівня біокомфарту на вході системи маємо набір різнотипних даних, що описують внутрішні параметри житлового середовища та індивідуальні характеристики мешканців. Для розроблення математичних залежностей, які дозволяють представити оцінку сукупного впливу чинників житлового середовища на організм людини у вигляді показника рівня біокомфарту, доцільно застосувати комплексний підхід до побудови моделей, що базується на використанні синтетичної інформації. Формування синтетичного набору даних здійснюється на основі інформації різного походження, зокрема, отриманої одночасно за допомогою імітаційного моделювання, експериментальних даних та висновків експертів. Побудова компактної інформаційної моделі на основі синтетичної вибірки даних, на етапі обчислення вихідних значень показника рівня біокомфарту для відповідних векторів вхідних параметрів, передбачає використання нейронечіткого T -контролера, а на етапі розроблення залежності в аналітичному вигляді – нейромережевого генератора формул.

РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОНЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БІОКОМФОРТУ

На етапі передбачення значень показника рівня біокомфарту на основі вхідних параметрів житлового середовища розроблено нечітку модель для T -контролера. Функціонування T -контролера нечіткої логіки, що реалізується в програмному середовищі T -Controller Workshop [2], передбачає три етапи: фазифікацію змінних, логічне виведення на основі бази правил та дефазифікацію вихідного значення. Особливістю такого контролера є нейромережевий метод дефазифікації, що здійснюється на основі навчання нейроподібних структур моделі геометричних перетворень (МГП) [3]. Такий метод дефазифікації забезпечує нульову методичну похибку перетворення для відомих точних значень на вході, тобто похибка результату

залежить лише від точності обчислення відповідних функцій належності. Перевагою T -контролера є підвищена точність функціонування і можливість розв'язання завдань з багатьма вхідними параметрами.

Розроблення контролера в програмному середовищі T -Controller Workshop можливе в двох варіантах: побудова з використанням введеного користувачем опису нечіткої моделі та створення на основі табличних даних. В процесі вирішення задачі оцінювання рівня біокомфарту розглядається варіант введення опису нечіткої моделі у відповідні поля робочого інтерфейсу програмного пакету T -Controller Workshop (рис. 1).

Вхідними параметрами розробленої нечіткої моделі є:

– T_{in} – температура повітря всередині приміщення – з базовою терм-множиною {«low», «med», «high»} на універсальній множині [13, 27];

– dt – максимальний перепад температур повітря і внутрішніх поверхонь стін – з терм-множиною {«low», «high»} на універсальній множині [1, 6];

– RH – показник відносної вологості повітря – з терм-множиною {«low», «med», «high»} на універсальній множині [35, 80];

– $sens$ – ступінь чутливості людини до впливів зовнішніх чинників – з терм-множиною {«low», «med», «high»} на універсальній множині [0, 1];

– res – режим проживання людини – з терм-множиною {«low», «med», «high»} на універсальній множині [1, 3];

– y – показник впливу житлового середовища на людину – з терм-множиною {«low», «med», «high»} на універсальній множині [200, 2500];

– $insol$ – ступінь природного освітлення – з терм-множиною {«low», «high»} на універсальній множині [0, 1, 0, 5];

Виходом контролера є параметр PLC (Predicted Level of Comfort) – передбачене значення рівня біокомфарту в житловому середовищі – з терм-множиною {«very_low», «low», «med», «high», «very_high»}, терми якої відповідають чітким значенням «1», «2», «3», «4» та «5» рівнів біокомфарту.

Визначення чітких значень термів лінгвістичних змінних нечіткої моделі, побудова функцій належності, формування правил нечіткої логіки виконується на ос-

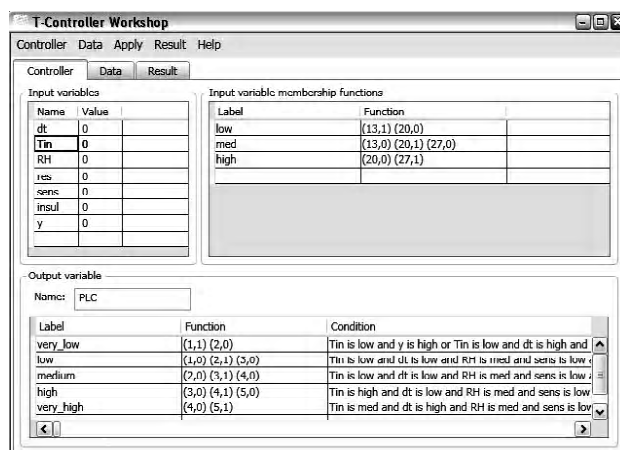


Рис. 1. Розробка нечіткого контролера в середовищі T -Controller Workshop

нові інформації від експертів, даних від обстеження кількох малоповерхових житлових будинків та проведених опитувань мешканців з метою визначення ступеня їх задоволення та відчуття комфорту перебування тривалий час в житловому середовищі.

Сформовані набори правил, згідно вимог *T*-контролера [2], записуються у стовпці *Condition* (рис. 1) у такому вигляді (для умови *PLC is very_low*):

T_{in} is low and *y* is high or *T_{in}* is low and *dt* is high and *RH* is low and *y* is med or *T_{in}* is low and *dt* is low and *RH* is low and *sens* is high and *y* is med or ...

Для тестування розробленого нечіткого контролера на його входи подавалися вектори значень параметрів біокомфарту у житловому середовищі. На виході контролера було одержано передбачені числові значення показника рівня біокомфарту в малоповерхових будинках відповідно до введених вхідних даних (табл. 1).

ПОБУДОВА КОМПАКТНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

На основі векторів числових співвідношень, отриманих за допомогою *T*-контролера, потрібно розробити математичну модель в компактному аналітичному вигляді, що описує залежність показника рівня біокомфарту від параметрів житлового середовища та індивідуальних характеристик мешканців. Для задачі оцінювання рівня біокомфарту доцільно розробити раціонально-дробову функцію у вигляді формули Паде, що дозволяє отримати високу точність моделювання завдяки методу апроксимації. В класичному трактуванні, апроксимація Паде є функцією у вигляді відношень двох поліномів, коефіцієнти яких визначаються коефіцієнтами розкладу функції в ряд Тейлора [4]. Обмеження, що виникають під час використання методу, успішно вирішуються за допомогою нейроподібних моделей геометричних перетворень. З цієї причини для розроблення математичних моделей для оцінювання рівня біокомфарту доцільно використати нейромеревий генератор формул *Sapientware.Equo 2.1*.

В основі процесу розроблення математичних залежностей є навчання нейроподібних моделей [5]. Вид генерованої формули залежить від вибраної для навчання нейромоделі функції активації. У нашому випадку, вихідна залежність буде у вигляді лінійного поліному Паде. Для оптимізації згенерованих залежностей використано метод «імітації відпалу металу», що дозволив покращити результат відповідно до похибки *MAPE* (mean absolute

percentage error) на 7 %. Результати генерації поліному можна розглянути у спеціальному вікні робочого інтерфейсу програми (рис. 2).

На етапі генерації формули виявилось необхідним розбиття вхідних даних на два набори вхідних векторів, відповідно до температури повітря в приміщенні. Таким чином, модель обчислення показника рівня біокомфарту має такий вигляд:

$$PLC = \begin{cases} f_1(X), & \text{якщо } T_{in} < 21^\circ\text{C} \\ f_2(X), & \text{якщо } T_{in} \geq 21^\circ\text{C} \end{cases} \quad (1)$$

де *PLC* – показник рівня біокомфарту; *T_{in}* – температура повітря в житловому середовищі, °C; *f₁(X)* і *f₂(X)* – лінійні поліноми Паде, що описують залежності показника рівня біокомфарту від вхідного вектора параметрів житла *X* = {*T_{in}*, *Δt*, *φ*, *sens*, *res*, *γ*, *insol*}, відповідно до температури повітря всередині.

В результаті генерації поліномів були одержані коефіцієнти для залежностей *f₁(X)* і *f₂(X)*, які в загальному випадку можна записати так:

$$f(X) = \frac{a_0 + a_1 T_{in} + a_2 \Delta t + a_3 \phi + a_4 sens + a_5 res + a_6 \gamma + a_7 insol}{1 + b_1 T_{in} + b_2 \Delta t + b_3 \phi + b_4 sens + b_5 res + b_6 \gamma + b_7 insol} \quad (2)$$

де *T_{in}* – температура повітря у житловому середовищі, °C; *Δt* – максимальний перепад між температурою повітря та температурою внутрішніх поверхонь стін, °C; *φ* – відносна вологість повітря, %; *sens* – рівень чутливості мешканця (або групи мешканців); *res* – режим про-

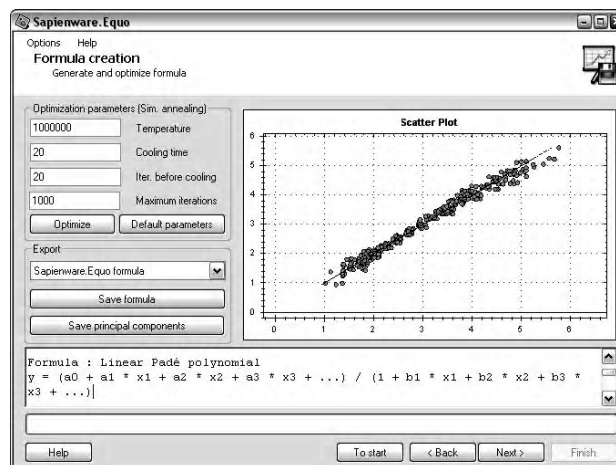


Рис. 2. Вікно статистичних результатів генерування залежності нейромеревим генератором формул Equo

Таблиця 1. Результати оцінювання рівня біокомфарту нечітким *T*-контролером

<i>T_{in}</i> , °C	<i>Δt</i> , °C	<i>φ</i> , %	<i>sens</i>	<i>res</i>	<i>y</i> , Вт/кг	<i>insol</i>	<i>PLC</i>
16	5,43	69	1	2	1799	0,22	1,68
15,5	4,55	38	0,5	3	935	0,11	1,94
17	1,87	70	0	3	530	0,17	3,27
20	1,48	47	1	2	641	0,32	4,65
19,5	2,24	50	0,5	3	688	0,34	4,39
18,5	1,4	60	1	3	450	0,27	3,99

живання людей; γ – показник теплового впливу будинку на людину, Вт/кг; $insol$ – степiнь природного освiтлення житлового середовища; $(a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7)$ i $(b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7)$ – коефiцiєнти полiному Паде.

Так, для експлуатацiйних умов з температурою повітря $T_{in} < 21^\circ\text{C}$ (для $f_1(X)$) коефiцiєнти полiному: $a_0 = 416,73$; $a_1 = -56,03$; $a_2 = 7,51$; $a_3 = -1,88$; $a_4 = 69,62$; $a_5 = 38,52$; $a_6 = 0,04$; $a_7 = -360,02$; $b_1 = -5,40$; $b_2 = -6,90$; $b_3 = -0,46$; $b_4 = -4,25$; $b_5 = -0,19$; $b_6 = -0,05$; $b_7 = -1,08$.

Коефiцiєнти математичної залежності $f_2(X)$, для експлуатацiйних умов з температурою повітря $T_{in} \geq 21^\circ\text{C}$, є: $a_0 = 126,3$; $a_1 = -2,01$; $a_2 = -0,26$; $a_3 = -0,15$; $a_4 = -19,38$; $a_5 = 0,008$; $a_6 = -0,01$; $a_7 = 30,75$; $b_1 = 0,65$; $b_2 = 0,83$; $b_3 = -0,004$; $b_4 = -2,86$; $b_5 = 0,53$; $b_6 = 0,002$; $b_7 = -2,31$.

За допомогою розробленої моделі (1) можна оцiнити рiвень бiокомфiрту, вiдповiдно до вхiдних показникiв, що характеризують певне житлове середовище. Так, якщо температура повітря є 20°C , максимальний перепад між температурою повітря та температурою внутрiшніх поверхонь стiн є $1,5^\circ\text{C}$, вiдносна вологiсть повітря 55% , показник «шкiдливого впливу будинку» рiвний 578 Вт/кг, показник природного освiтлення $0,24$, для людини з високим ступенем чутливостi до впливiв бiокомфiртних чинникiв середовища за умови 1-го режиму проживання показник бiокомфiрту $PLC = 4,24$, що вiдповiдає 4 рiвню.

ВИСНОВКИ

Використання методiв нейронечiткого моделювання для вирiшення задачi оцiнювання рiвня бiокомфiрту в малоповерхових будинках дозволило на етапi пiдготовки даних врахувати експериментальнi данi разом з висновками експертiв, що забезпечило можливiсть розширення кiлькостi вхiдної iнформацiї для моделi. Побудована компактна математична модель, у виглядi формули Паде, для оцiнювання показника рiвня бiокомфiрту на основi попереднього нейронечiткого моделювання, дозволила в бiльш широкому спектрi врахувати вплив чинникiв житлового середовища на органiзм людини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко, Р. О. Інтелектуалізована система оцінювання параметрів біокомфiрту примiщення / Р. О. Ткаченко, М. В. Машевська // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 710 – С. 133–138.
2. Rule-based fuzzy system of improved accuracy / O. Tkachenko, R. Tkachenko, Yu. Hirniak, O. Ivakhiv, P. Mushenyk // Materials of 56th International scientific colloquium (Ilmenau University of Technology, 12–16 September 2011). – Ilmenau : TU Ilmenau, 2011. – 25 p.
3. Ткаченко, Р. О. Нова парадигма штучних нейронних мереж прямого поширення / Р. О. Ткаченко // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 1999. – № 386 – С. 43–54.
4. Бейкер, Дж. / Дж. Бейкер, мл., П. Грейвс-Моррис; пер. с англ. Е. А. Рахманова, С. П. Суєтина; ред. А. А. Гончар. – М.: Мир, 1986. – 502 с.
5. Ткаченко, Р. О. Елементи архiтектури для iнтелектуальної системи побудови математичної моделi прогнозування рiвня теплового комфорту / Р. О. Ткаченко, М. В. Машевська // Науковий вiсник Нацiонального лiсотехнiчного унiверситету України: збiрник науково-технiчних праць. – Львiв: РВВ НЛТУ України, 2011. – Вип. 21.10. – С. 284–290.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2012.

Ткаченко Р. А., Машевская М. В.

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ УРОВНЯ БИОКОМФОРТА

Описано процесс разработки математических моделей при помощи нейронечеткого моделирования. Рассмотрены этапы разработки нечеткой модели для оценивания уровня биокomфорта жилья.

Ключевые слова: нейронечеткая система, компактная модель, параметры биокomфорта.

Tkachenko R., Mashevskaya M.

NEURO-FUZZY SYSTEM FOR AUTOMATION SYNTHESIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATING AN INDEX OF LEVEL OF BIOCOMFORT

The process of creating the mathematical model by the neuro-fuzzy modeling is described. The stages of construction of the fuzzy model to evaluating the level of biocomfort of habitation are considered.

Key words: neuro-fuzzy system, compact model, parameters of biocomfort.