

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 підвищення точності 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_m – 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-

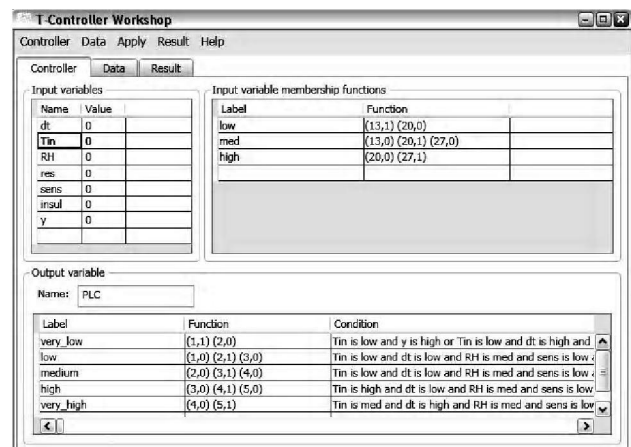


Рис. 1. Розробка нечіткого контролера в середовищі T -Controller Workshop

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 нейромережовий генератор формул Sapienware.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-

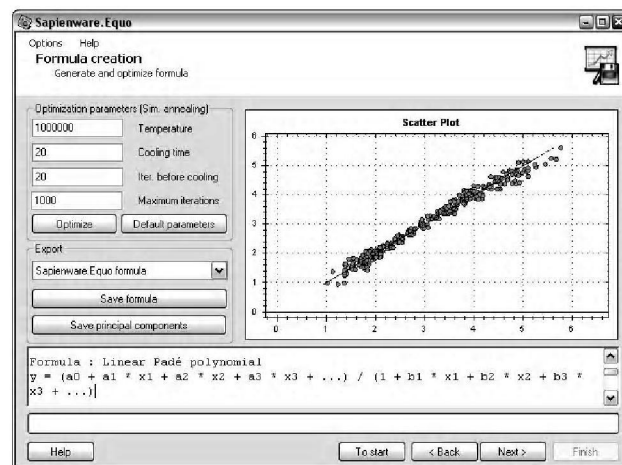


Рис. 2. Вікно статистичних результатів генерування залежностей нейромережовим генератором формул Equo

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; $insol$ – степінь природного освітлення житлового середовища; $(a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7)$ і $(b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7)$ – коефіцієнти поліному Паде.

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

Коефіцієнти математичної залежності $f_2(X)$, для експлуатаційних умов з температурою повітря $T_m \geq 21^\circ\text{C}$, 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 оцінити рівень біокомфарту, відповідно до вхідних показників, що характеризують певне житлове середовище. Так, якщо температура повітря є 20°C , максимальний перепад між температурою повітря та температурою внутрішніх поверхонь стін є $1,5^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 55% , показник «шкідливого впливу будинку» рівний 578 Вт/кг , показник природного освітлення $0,24$, для людини з високим ступенем чутливості до впливів біокомфортних чинників середовища за умови 1-го режиму проживання показник біокомфарту $PLC = 4,24$, що відповідає 4 рівню.

ВИСНОВКИ

Використання методів нейронечіткого моделювання для вирішення задачі оцінювання рівня біокомфарту в малоповерхових будинках дозволило на етапі підготовки даних врахувати експериментальні дані разом з висновками експертів, що забезпечило можливість розширення кількості вхідної інформації для моделі. Побудована компактна математична модель, у вигляді формули Паде, для оцінювання показника рівня біокомфарту на основі попереднього нейронечіткого моделювання, дозволила в більш широкому спектрі врахувати вплив чинників житлового середовища на організм людини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко, Р. О. Інтелектуалізована система оцінювання параметрів біокомфарту приміщення / 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 архітектури для інтелектуальної системи побудови математичної моделі прогнозування рівня теплового комфорту / Р. О. Ткаченко, М. В. Машевська // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України : збірник науково-технічних праць. – Львів : 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 биоконфорта жилья.

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

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.