

## **НЕЙРОНЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОКОМФОРТУ В МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДИНКАХ**

**Р.О. ТКАЧЕНКО, М.В. МАШЕВСЬКА**

Описано метод розроблення математичних моделей на основі синтетичної вибірки даних за допомогою нейронечіткого моделювання. Виділено основні чинники житлового середовища, що впливають на відчуття комфорту і здоров'я людини та оцінюються в межах показника рівня біокомфОРТУ. Вибірку даних сформовано з використанням експериментальних даних, висновків експертів та результатів математичного моделювання. Розглянуто особливості використання нейронечіткого Т-контролера та нейромережевого генератора формул, що забезпечує можливість поєднання різнорідних даних для розроблення моделей. Розроблено математичні моделі для обчислення інтегральних показників комфорту в житловому середовищі, що дозволяють підвищити точність оцінювання якісних параметрів біокомфОРТУ. Подано результати оцінювання показника рівня біокомфОРТУ з використанням розроблених моделей.

### **ВСТУП**

Збільшення попиту на якісне та комфортне житло потребує застосування нових підходів та методів для комплексного оцінювання ступеня впливу середовища проживання на організм мешканців. Експериментально-наукові дослідження П. Фанжера, Р. де Діара, А. Геїджа та ін., та високий рівень стандартизації параметрів теплового комфорту стали теоретичним і нормативним підґрунтям для аналізу умов середовища проживання та відображенням сучасних критеріїв в оцінці якості будівництва житла. Інтегральні способи визначення рівня комфорту та універсальних показників його складових відображають експертні напрацювання у сфері розвитку енергоефективного будівництва та дозволяють комплексно враховувати критерії забезпечення комфортного проживання.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Комплексне дослідження рівня якості житлового середовища передбачає врахування параметрів теплового мікроклімату та психологічного комфорту, а також ступеня несприятливого впливу конструкції будинку на організм людини. Оцінювання ступеня комфорту людини залежить не лише від об'єктивних характеристик параметрів середовища, але й від біологічних

чинників. Для дослідження та оцінювання стану комфорту людини у житловому середовищі з урахуванням її індивідуальних об'єктивних параметрів використовують показники біокомфарту [1, 2].

Недолік існуючих моделей оцінювання рівня комфорту в тому, що вони враховують лише вплив параметрів теплового мікроклімату на організм людини та мають обмежений діапазон зміни показників. Моделі оцінювання комфорту будуються на основі лише фізичних моделей або лише даних експериментальних досліджень.

Можливість побудови більш ефективних моделей для ширшого діапазону зміни параметрів і для врахування їх більшої кількості виникла у зв'язку з появою нейромережових та нечітких засобів штучного інтелекту. Більш ефективні моделі можливо побудувати на основі синтетичних даних, включаючи результати математичного моделювання, експериментальні дані та експертні висновки.

**Мета роботи** — розроблення нечітких та нейронечітких моделей оцінювання показника рівня біокомфарту на основі використання різнорідних даних та висновків експертів.

## ПІДГОТОВКА ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОНЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ

На етапі підготовки даних для побудови моделей використано синтетичну інформацію, отриману з різних джерел. На основі опрацювання проектної документації, проведених вибіркового спостережень за станом мікроклімату в малоповерхових житлових будинках, використання результатів імітаційного моделювання параметрів біокомфарту, із урахуванням якісних параметрів оцінювання (у тому числі, індивідуальних чинників) та експертних оцінок, сформовано масив вхідних даних для моделювання.

Для опису показників природного освітлення житлового приміщення (*insol*), режиму проживання людини (*res*) та ступеня чутливості організму мешканця до дії чинників середовища (*sens*) використано якісні оцінки.

На етапі збору даних для визначення цих змінних на основі експертних оцінок використано якісні шкали оцінювання.

Для опису інтегрального показника, який відповідає рівню біокомфарту, введено змінну *PLC* (Predicted Level of Comfort), що визначається в межах 5-рівневої шкали оцінювання. Інтенсивність та характер впливу чинників житлового середовища на організм людини в залежності від її режиму проживання та ступеня чутливості, оцінювались на основі інформації від експертів та згідно з вимогами щодо забезпечення оптимальних співвідношень параметрів мікроклімату.

Розроблення математичних моделей із врахуванням експертних висновків складається із двох етапів: передбачення показника рівня біокомфарту на основі синтетичної вибірки даних за допомогою нейронечіткого Т-контролера та побудова відповідної емпіричної залежності з використанням нейромережового генератора формул. Загальну схему розроблення математичної моделі оцінювання рівня біокомфарту (*PLC*) зображено на рис. 1.

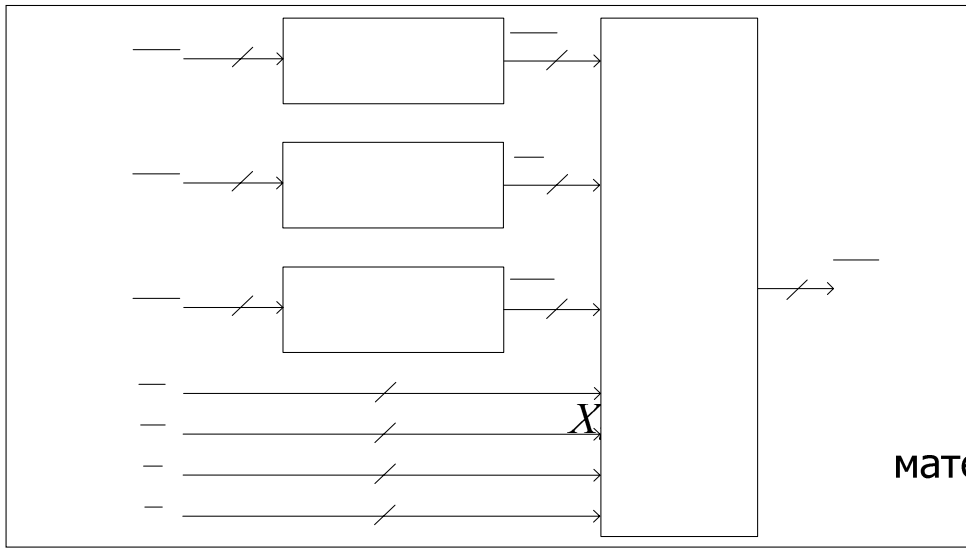


Рис. 1. Загальна структурна схема розроблення математичної моделі оцінювання показника рівня біокомфарту PLC

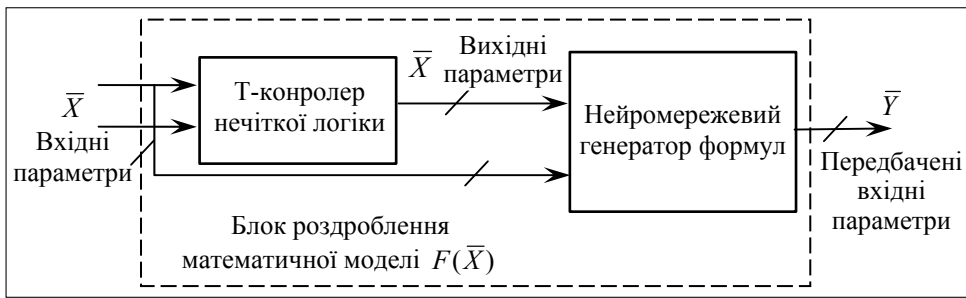


Рис. 2. Структурна схема розроблення математичних моделей оцінювання параметрів біокомфарту

На рис. 1 вектори  $\overline{X}_{insol}$ ,  $\overline{X}_{res}$ ,  $\overline{X}_{sens}$  є вхідними параметрами (чинниками), що описують, відповідно, показники  $insol$ ,  $res$  та  $sens$ . Вихідний вектор  $\overline{PLC} = F(\overline{X})$ , де  $X = \{T_{in}, \Delta t, \varphi, \gamma, insol, sens, res\}$ . Структурну схему розроблення математичних моделей оцінювання параметрів біокомфарту представлено на рис. 2.

## РОЗРОБЛЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ТА ЇЇ ТЕСТУВАННЯ

Для розроблення нечіткої моделі введено лінгвістичні змінні, визначено базові терм-множини, побудовано відповідні функції належності та сформовано базу продукційних правил.

Для експериментальних досліджень використано ліцензійний програмний продукт TController Workshop [3]. Принцип побудови правил логічного виведення та виконання попередніх етапів їх композиції відбувається аналогічно до методу Мамдані.

Особливістю алгоритму Т-контролера є нейромережевий метод дефазифікації, який здійснюється за допомогою каскаду двох нейромереж моделі

геометричних перетворень (МГП). Перший каскад (автоасоціативна штучна нейроподібна мережа геометричних перетворень) — відкидає вектори з малими сингулярними числами, усуваючи, таким чином, фактор виродженості системи. Другий каскад — забезпечує процедуру дефазифікації. Перевагою такого методу дефазифікації є нульова методична похибка перетворення для відомих точних значень на вході. Тобто похибка результату залежить лише від точності обчислення відповідних функцій належності [3].

Вхідними параметрами розробленого нейронечіткого Т-контролера є лінгвістичні змінні: температура повітря всередині приміщення ( $T_{in}$ ); перепад між температурою повітря і температурою внутрішніх поверхонь стін ( $\Delta t$ ); показник відносної вологості ( $\varphi$ ); рівень чутливості організму до впливів зовнішніх чинників ( $sens$ ); показник режиму проживання людини ( $res$ ); показник негативного впливу конструкції будинку на людину ( $y$ ); ступінь природного освітлення приміщення ( $insol$ ).

Виходом нейронечіткого контролера є параметр PLC — передбачений рівень біокомфарту в житловому середовищі. Чіткі значення термів описують, відповідно, «1», «2», «3», «4» та «5» рівні біокомфарту.

Для вхідних та вихідних параметрів нечіткої моделі задано трикутні функції належності.

На етапі тестування нечіткої системи використано вектори показників житлового середовища та індивідуальних характеристик. Вектори сформовано на етапі підготовки даних для моделювання на основі спостережень за змінами внутрішніх параметрів реальних житлових будинків та представлено відповідно до введених шкал оцінювання. В режимі тестування нейронечіткого контролера на виході одержано набір числових значень показника рівня біокомфарту у малоповерхових будинках відповідно до заданих параметрів житлового середовища.

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Побудова математичної моделі для оцінювання показника рівня біокомфарту передбачає представлення числових залежностей, отриманих за допомогою Т-контролера, в аналітичному вигляді.

Наша задача є задачею регресії, особливістю якої є нелінійність по параметрах і значна корельованість вхідних даних. У зв'язку з цим, для розроблення математичних моделей оцінювання рівня біокомфарту застосовується нейромережевий генератор формул *Sapientware.Equo 2.1*. [4], в основі якого закладено реалізацію методу сингулярної декомпозиції на нейроподібних структурах МГП. Такий підхід забезпечує автоматичне відкидання всіх головних компонент із малим сингулярним числом, поріг якого задаємо під час моделювання.

Функцією активації для навчання нейромереж обрано дробово-раціональний поліном Паде 2-го порядку, що враховує нелінійність залежностей і має добрі екстраполяційні властивості.

Для нашої задачі дробово-раціональний поліном записується в такому вигляді:

$$PLC = \frac{a_0 + \sum_{i=1..N,k} a_k X_i + \sum_{j=1..N} X_j \sum_{i=j..N,k} a_k X_i}{1 + \sum_{i=1..N,k} b_k X_i + \sum_{j=1..N} X_j \sum_{i=j..N,k} b_k X_i}, \quad k=1...35, \quad (1)$$

де  $PLC$  — показник рівня біокомфарту;  $X = \{T_{in}, \Delta t, \varphi, insol, sens, \gamma, res\}$  — вектор параметрів житлового середовища, що визначають рівень біокомфарту [1, 2];  $N$  — кількість параметрів моделі,  $N = 7$ ;  $(a_0, a_1, \dots, a_{35})$  та  $(b_1, b_2, \dots, b_{35})$  — коефіцієнти поліному Паде.

Нейромережевий метод, реалізований у ліцензованому програмному продукті *Sapientware.Equo 2.1.*, забезпечує достатньо точні логічні наближення коефіцієнтів моделі на основі застосування нейромереж. Остаточні значення коефіцієнтів визначаються оптимізаційним методом «імітації відпалу».

У результаті отримано наступні коефіцієнти моделі (1):

$$a_0 = 155,268;$$

$$a_1 = 15,081; \quad a_2 = -4,937; \quad a_3 = -1,551; \quad a_4 = -2,757; \quad a_5 = -2,497;$$

$$a_6 = -0,004; \quad a_7 = -73,508; \quad a_8 = 0,292; \quad a_9 = 0,043; \quad a_{10} = 0,018;$$

$$a_{11} = 0,378; \quad a_{12} = 0,524; \quad a_{13} = 5,86E-05; \quad a_{14} = 2,006; \quad a_{15} = 0,382;$$

$$a_{16} = 0,018; \quad a_{17} = 0,893; \quad a_{18} = 0,283; \quad a_{19} = 1,26E-04; \quad a_{20} = 0,394;$$

$$a_{21} = 0,0093; \quad a_{22} = 0,003; \quad a_{23} = 0,0078; \quad a_{24} = 2,07E-05; \quad a_{25} = 0,0769;$$

$$a_{26} = -0,923; \quad a_{27} = 0,21; \quad a_{28} = 2,44E-04; \quad a_{29} = 4,476; \quad a_{30} = 0,669;$$

$$a_{31} = 0,002; \quad a_{32} = 0,75; \quad a_{33} = 3,1E-06; \quad a_{34} = 8,84E-04; \quad a_{35} = 17,402;$$

$$b_1 = -1,001; \quad b_2 = -1,674; \quad b_3 = 0,106; \quad b_4 = -1,657; \quad b_5 = -1,774;$$

$$b_6 = -0,0048; \quad b_7 = -17,402; \quad b_8 = 0,0047; \quad b_9 = 0,023; \quad b_{10} = 0,0019;$$

$$b_{11} = 0,0258; \quad b_{12} = 0,139; \quad b_{13} = 3,21E-05; \quad b_{14} = 0,962; \quad b_{15} = 0,0585;$$

$$b_{16} = 0,0033; \quad b_{17} = 0,0389; \quad b_{18} = 0,0384; \quad a_{19} = 9,98E-06; \quad b_{20} = 0,705;$$

$$b_{21} = -0,00153; \quad b_{22} = 0,0023; \quad b_{23} = 0,00516; \quad b_{24} = 3,05E-06; \quad b_{25} = 0,035;$$

$$b_{26} = -0,062; \quad b_{27} = 0,494; \quad b_{28} = 5,14E-04; \quad b_{29} = 1,582; \quad b_{30} = 0,144;$$

$$b_{31} = 2,28E-05; \quad b_{32} = 0,606; \quad b_{33} = 5,04E-08; \quad b_{34} = 9,02E-04; \quad b_{35} = 9,184.$$

Передбачення показника рівня біокомфарту в житловому середовищі на основі розробленої математичної моделі забезпечує більш комплексне оцінювання співвідношення параметрів комфорту, порівняно з існуючими моделями та методами.

## РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОНЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОКОМФОРТУ

На етапі підготовки даних для розроблення нейронечіткої моделі для обчислення показника рівня біокомфарту в житловому середовищі (ЖС) було введено кількісні шкали оцінювання для якісних параметрів: показників

природного освітлення, режиму проживання та ступеня чутливості людини до впливу чинників зовнішнього середовища.

Для розроблення математичних моделей оцінювання параметрів біокомфорту на основі вхідних характеристик використано методи та засоби нейронечіткого моделювання.

Побудова моделей передбачає розроблення нечітких систем для отримання значень параметрів біокомфорту на основі вхідних вибірок даних та побудову компактних математичних залежностей для оцінювання їх показників як у процесі експлуатації житла в малоповерхових будинках, так і на етапах його проектування та будівництва.

## НЕЙРОНЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА СТУПЕНЯ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Оцінювання параметрів біокомфорту передбачає визначення ступеня природного освітлення ЖС відповідно до його позитивного впливу на здоров'я людини. З цієї точки зору, основними чинниками, що впливають на показник природного освітлення, є:

- коефіцієнт засклення приміщення ( $S_{gl}$ ) — з областю значень [5, 45];

обчислюється із відношення площі скління приміщення до площі підлоги;

- показник відкритості території ( $OS$ ) — оцінюється по шкалі [0,1]. Характеризується лінгвістичними змінними, коли «0» відповідає дуже малій відкритості території і низькому доступу сонячного проміння через суцільне затінення небосхилу протилежними спорудами або деревами, а «1» — повній відкритості або ледь помітному затіненню;

- коефіцієнт відбиття фону приміщення ( $CR$ ) — приймає значення з інтервалу [0,1;0,8] та визначається згідно з Державними будівельними нормами.

Відповідно до введеної шкали для оцінювання рівня біокомфорту, показник природно освітлення ( $insol$ ) задається на інтервалі [0,1;0,5].

На першому етапі розроблення моделі оцінювання ступеня природного освітлення житлового середовища, відповідно до впливу цього показника на організм мешканців, побудовано нечітку модель для Т-контролера.

На основі одержаних числових залежностей (навчальної вибірки) за допомогою нейромережевого генератора формул Sapientware Equo 2.1 отримано коефіцієнти відповідного математичного співвідношення. Для навчання нейроподібної моделі функцією активації вибрано дробово-раціональний поліном Паде [2].

Розроблена модель для обчислення показника природного освітлення в житловому середовищі має вигляд:

$$insol = \frac{a_0 + a_1 S_{gl} + a_2 OS + a_3 CR}{1 + b_1 S_{gl} + b_2 OS + b_3 CR}, \quad (2)$$

де  $insol$  — показник природного освітлення в приміщенні;  $S_{gl}$  — коефіцієнт засклення приміщення, %;  $OS$  — ступінь відкритості території;  $CR$  — коефіцієнт відбиття фону приміщення;  $(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3)$  та  $(b_1 \ b_2 \ b_3)$  — коефіцієнти поліному Паде.

За допомогою генератора формул Sapienware Equo 2.1 одержано коефіцієнти поліномів дробу:  $a_0 = 0,0498$ ;  $a_1 = -2,4E - 04$ ;  $a_2 = 0,115$ ;  $a_3 = 0,051$ ;  $b_1 = -0,012$ ;  $b_2 = -0,0265$ ;  $b_3 = -0,017$ .

З метою розроблення ефективної моделі для оцінювання показника ступеня природного освітлення розроблену модель було розширено за рахунок врахування додаткових коефіцієнтів: світлового коефіцієнта ( $k_{ort}$ ), що визначає ступінь сонячності відповідно до орієнтації вікон, та коефіцієнта надходження сонячного проміння ( $k_{cs}$ ), що характеризує ступінь втрат сонячного проміння під час проходження через використаний вид скління.

Світловий коефіцієнт приймається залежно від орієнтації вікон за сторонами світу, відповідно до значень поданих у табл. 1.

**Таблиця 1.** Значення світлового коефіцієнта  $k_{ort}$

Пояс світлового клімату	Орієнтація вікон за сторонами світу	
	Північ	Південь, схід, захід
На північ 50° пн.ш.	0,85	1,1
50° пн.ш. та на південь від неї	0,9	1,15

Коефіцієнт надходження сонячного проміння ( $k_{cs}$ ) визначається за формулою:  $k_{cs} = \tau + 0,2$ ; де  $\tau$  — коефіцієнт пропускання світла через матеріал скління, згідно з Державними будівельними нормами.

Результуюча модель для обчислення показника природного освітлення має вигляд:

$$insol' = k_{cs} \cdot k_{ort} \cdot insol, \quad (3)$$

де  $insol'$  — результуючий показник природного освітлення в приміщенні;  $k_{cs}$  — коефіцієнт надходження сонячного проміння через світлопрозорі елементи;  $k_{ort}$  — світловий коефіцієнт, що визначає ступінь сонячності;  $insol$  — показник природного освітлення, обчислений з формули (2).

Так, для приміщень із орієнтованими на південний схід вікнами (вид вікон — склопакети) з площею скління 19%, за умов високої відкритості території та світлим фоном внутрішніх стін ( $CR = 0,5$ ), показник природного освітлення  $insol$  буде рівним 0,29.

## НЕЙРОНЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА РЕЖИМУ ПРОЖИВАННЯ

Не менш важливим чинником, що визначає та корегує показник рівня біокомфарту житлового приміщення, є режим проживання людини в цьому середовищі.

Параметр «режим проживання» враховує тривалість перебування людини у житловому середовищі ( $TS$ ) та ступінь її активності ( $Ac$ ). Показник  $TS$  приймає значення в межах від 10 до 24 годин. Величина показника  $Ac$  приймає значення від нуля до одиниці.

Чим більше часу людина проводить у приміщенні, тим сильніше організм піддається впливові параметрів цього середовища і тим ретельніше

мають бути забезпечені умови високої якості житлових приміщень. Межі допустимих коливань теплових параметрів для забезпечення високого рівня біокомфарту залежать від ступеня активності людини: за умов малої рухливості в житловому середовищі мають бути забезпечені не допустимі, а виключно оптимальні показники мікроклімату.

Для передбачення показника рівня біокомфарту на етапі проектування будинку параметр  $Ac$  приймається зі значенням 0,5.

У процесі налаштування нейронечіткого Т-контролера було введено лінгвістичні змінні, побудовані функції належності базових терм-множин та сформовано набір правил логічного виведення.

Вхідними параметрами контролера є лінгвістичні змінні:  $TS$  — тривалість перебування людини в житловому середовищі;  $Ac$  — показник, що характеризує ступінь активності людини.

Вихідною змінною є показник режиму проживання ( $res$ ). Для опису відповідної лінгвістичної змінної визначено базову терм-множину: {«low», «med», «high»}.

На основі отриманих на етапі тестування розробленої нечіткої моделі даних за допомогою нейромережевого генератора формул отримано коефіцієнти математичної залежності у вигляді поліному Паде:

$$res = \frac{a_0 + a_1 \cdot TS + a_2 \cdot Ac}{1 + b_1 \cdot TS + b_2 \cdot Ac}, \quad (4)$$

де  $res$  — показник режиму проживання;  $TS$  — тривалість перебування людини в житловому середовищі (години);  $Ac$  — ступінь активності людини;  $(a_0 \ a_1 \ a_2)$  та  $(b_1 \ b_2)$  — коефіцієнти поліному Паде:  $a_0 = -0,81$ ;  $a_1 = 0,485$ ;  $a_2 = -3,483$ ;  $b_1 = 0,1067$ ;  $b_2 = -1,017$ .

На основі співвідношення (4) отримуємо: якщо час перебування людини у житловому середовищі приблизно дорівнює 15 годин і ступінь активності є середнім 0,5 (сидяча робота, навчання тощо), то показник  $res$  дорівнює 2,25, що характеризує 2-й режим проживання.

## НЕЙРОНЕЧИТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА СТУПЕНЯ ЧУТЛИВОСТІ ЛЮДИНИ

Вимоги до умов середовища проживання, відповідно до показника чутливості, залежать від стану фізичного та психоемоційного здоров'я людини. З цієї позиції, фізичне здоров'я розглядається як стійкість організму до впливів теплових факторів зовнішнього середовища в залежності від частоти застудних захворювань.

Діти та люди старшого віку є більш чутливі до коливань значень параметрів теплового мікроклімату, а також потребують вищого показника рівня природного освітлення житлових приміщень. Натомість, молодь, здорові, загартовані мешканці є менш вимогливими та сприйнятливими до коливань значень відповідних теплових факторів.

Показник, що враховує ступінь чутливості ( $sens$ ), залежить від віку людини (параметр  $Age$ ), її схильності до застудних захворювань ( $Ils$ ) та суб'єктивної оцінки ступеня власної сприйнятливості до впливу зовнішніх чинників середовища на відчуття та потреби в забезпеченні оптимальних значень параметрів мікроклімату ( $Sns$ ).



Для розроблення моделі оцінювання показника ступеня чутливості ці параметри задаються в таких межах: *Age* — вік людини, відповідно до шкали [5...90] років; *Ils* — оцінка, що відкладається на шкалі значень [0, 1]; низький рівень «0» — за умови, якщо середня кількість застудних захворювань менша 4-х разів на рік; високий рівень «1» — у випадках, коли чистота захворювань перевищує 9 разів на рік; *Sns* — параметр, що приймає значення з інтервалу [0,1] і характеризує суб'єктивну оцінку по 10-бальній шкалі ступеня чутливості організму людини до впливів чинників середовища.

У процесі оцінювання значення параметра *Sns* можна враховувати не лише побажання щодо досягнення оптимальних теплових параметрів, але й показник «бажаної легкості одягу»: чим меншим є показник ізоляції одягу (чим легшим є одяг) людини під час тривалого перебування в ЖС, тим вищим має бути значення оцінки *Sns*.

Для розроблення математичної моделі, яка б дозволила врахувати як числовий параметр (*Age*) так і лінгвістичні змінні (*Ils* та *Sns*) для оцінювання показника ступеня чутливості людини використовується метод нейронечіткого моделювання.

Отримані на виході нечіткого контролера значення разом із вхідними даними подавались на вхід нейромережевого генератора формул. Функцією активації для навчання нейроподібної моделі вибрано поліном Паде.

Нейронечітка модель оцінювання показника чутливості людини має такий вигляд:

$$sens = \frac{a_0 + a_1 \cdot Age + a_2 \cdot Ils + a_3 \cdot Sns}{1 + b_1 \cdot Age + b_2 \cdot Ils + b_3 \cdot Sns}, \quad (5)$$

де *sens* — показник рівня чутливості мешканця; *Age* — вік мешканців, роки; *Ils* — схильність до застудних захворювань; *Sns* — чутливість людини до коливань значень зовнішніх чинників, що характеризують біокомфорт житлового середовища.

( $a_0$   $a_1$   $a_2$   $a_3$ ) та ( $b_1$   $b_2$   $b_3$ ) — коефіцієнти поліному Паде, отримані за допомогою навчання нейронної мережі:  $a_0 = -0,095$ ;  $a_1 = 0,0034$ ;  $a_2 = 1,02$ ;  $a_3 = -0,079$ ;  $b_1 = 0,0038$ ;  $b_2 = -1,031$ ;  $b_3 = -0,985$ .

На основі експериментальних досліджень доведено, що обчислення параметрів біокомфарту на основі розроблених моделей підвищує точність їх оцінювання на 20–25%, порівняно з їх представленням у формі якісних характеристик. Таким чином, покращується якість оцінювання показника рівня біокомфарту на основі загальної моделі (1).

## ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКА РІВНЯ БІОКОМФОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗРОБЛЕНИХ НЕЙРОНЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ

За допомогою розробленої моделі (1) можна оцінити рівень біокомфарту, відповідно до вхідних показників, що характеризують певне житлове середовище.

Значення показника рівня біокомфарту змінюються в межах 1...5. Оцінка *PLC*, що дорівнює 1, описує найгірше співвідношення параметрів біокомфарту і відповідає найнижчому рівню якості проживання людини. Натомість показник рівня біокомфарту *PLC*, що дорівнює 5, характеризує

найкраще співвідношення показників якості житла для відповідних мешканців.

**Таблиця 2.** Результати оцінювання рівня біокомфورتу

$T_{in}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$sens$	$res$	$\gamma, \text{Вт/кг}$	$insol$	$PLC$
15,5	3	69	0,2	2,8	300	0,25	3,58
16	2,5	58	0,8	3	1710	0,37	2,52
18	1,5	74	0,5	1,3	935	0,29	3,65
19	2	79	0,75	3	2117	0,37	2,08
20	1,5	55	0	2,3	578	0,39	4,83
20,5	3	51	0,5	2,9	400	0,34	4,36
23	2,1	55	0,5	2	258	0,29	4,46

Оскільки попередні експериментальні дані (еталонна модель) комплексного оцінювання рівня біокомфорту людини в житловому середовищі за різних умов проживання відсутні, одержані результати були перевірені та визнані як адекватні кваліфікованими експертами на основі знань щодо впливу зовнішніх факторів житлового середовища на організм людини, залежно від рівня її чутливості до дії таких чинників.

## ВИСНОВКИ

Використання розроблених нейронечітких моделей для оцінювання рівня біокомфорту забезпечує комплексне дослідження впливу інтегральних параметрів житла у малоповерхових будинках на якість проживання людини. Розроблення математичних залежностей за допомогою методу нейронечіткого моделювання дозволяє використовувати синтетичну вибірку даних, що значно розширює межі врахування параметрів досліджуваної моделі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Машевська М.В. Нейронечітке моделювання в задачах оцінювання якості житла на основі показника рівня біокомфорту // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. — Львів: РВВ НЛТУ України, 2012. — Вип. 22.2. — С. 342–348
2. Ткаченко Р., Машевська М. Інтелектуалізована система оцінювання параметрів біокомфорту приміщення // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. — Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2010. — № 710. — С. 133–138.
3. Tkachenko O., Tkachenko R., Hirniak Yu. Rule-based fuzzy system of improved accuracy // Materials of 56th International scientific colloquium, (Ilmenau University of Technology, 16 September 2011, Ilmenau, Germany). — <http://dc434.4shared.com/doc/F5FN-JGW/preview.html>.
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. — Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. — № 638. — С. 179–184.

Надійшла 24.05.2012