

## ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОКОМФОРТУ ПРИМІЩЕННЯ

© Ткаченко Р., Машевська М., 2011

Проаналізовано необхідність врахування характеру впливів внутрішніх чинників приміщення на мешканця протягом часу його перебування всередині. Розглянуто етапи побудови нечіткої системи оцінювання рівня біокомфОРТУ житла. Описано процес розроблення моделі розрахунку (та прогнозування) співвідношення параметрів теплового мікроклімату із врахуванням додаткових факторів зовнішнього середовища. Перевірено ефективність моделі на основі одержаних результатів прогнозування.

**Ключові слова:** нечітка система, компактна модель, поліном, параметри біокомфОРТУ.

The necessity of account the character of influences of internal factors of apartment on a habitant during the time of his staying inwardly is analyzed. The stages of construction of the fuzzy system to evaluation the level of biocomfort of habitation are considered. The process of creating the model to calculation (and prognostication) the relation of parameters of thermal microclimate with the account of additional factors of external environment is described. Efficiency of model on the basis of the got results of prediction is tested.

**Keywords:** fuzzy system, compact model, polynomial, parameters of biocomfort.

### Вступ

Якість житлового середовища визначається насамперед рівнем комфорту проживання людини. Критерії оцінювання такого показника залежать не лише від об'єктивних характеристик будівлі та мешканців, але й від їх особистих побажань щодо власного житла. Натомість, перебуваючи всередині певного житлового приміщення тривалий час, людина змушена пристосовуватись до коливань значень внутрішніх параметрів середовища. Оцінка впливу цих чинників на людину позбавлена суб'єктивної складової, оскільки залежить більшою мірою від реакції організму, аніж від вподобань мешканця. Критерієм якості житлового приміщення для потенційних (або реальних) мешканців щодо комфорту перебування людини в певному середовищі є рівень біокомфОРТУ.

### Постановка проблеми

Процес оцінювання рівня біокомфОРТУ житлового середовища як на етапі його проектування, так і не етапі експлуатації передбачає врахування низки внутрішніх показників приміщень, зокрема параметрів мікроклімату. Ступінь навантаження системи терморегуляції людини залежить, насамперед від поєднання показників теплового комфорту та відносної вологості повітря. Співвідношення теплових параметрів житлових приміщень є важливим фактором забезпечення комфортних умов тривалого перебування людини в „замкнутому середовищі”. Існуючі моделі не дають змоги повноцінно оцінити вплив основних кліматичних чинників місцевості на процеси, що відбуваються у зовнішніх огорожувальних конструкціях (ЗОК) і є причиною коливань показників теплового мікроклімату [1]. Залежно від періоду року та теплофізичних характеристик будівельних елементів вплив зовнішніх факторів може істотно погіршувати показники житлового середовища і викликати в мешканців відчуття дискомфорту перебування всередині. З метою забезпечення можливості прогнозування співвідношення теплових параметрів мікроклімату залежно від інтенсивності впливу основних чинників місцевості необхідно побудувати відповідні математичні залежності. Така модель відіграє важливу роль в процесі розроблення системи, що дасть змогу відповідно

до кліматичних особливостей навколишньої території, параметрів будівлі та характеристик потенційних мешканців розрахувати показник прогнозованого рівня біокомфарту. Розроблену систему буде застосовано на етапі аналізу готового проекту житла і прийняття рішення щодо відповідності існуючих умов високій якості проживання. Для побудови відвідних компактних та зручних у застосуванні моделей системи доцільно користуватись методами та засобами нечіткої логіки.

### Параметри біокомфарту приміщення

Показник рівня біокомфарту характеризує ступінь відповідності співвідношення параметрів житлового середовища оптимальним для конкретної людини умовам проживання. Основними параметрами житлового приміщення, що визначають якість цього середовища для організму людини, є: показники мікроклімату, ступінь інсоляції приміщення протягом дня, інтенсивність впливу будівлі на біологічний об'єкт. Мешканці по-різному реагують і оцінюють ступінь комфорту відчуттів у „замкнутому середовищі” залежно від рівня сприйняття і чутливості до впливу зовнішніх чинників. З цієї причини для оцінювання рівня біокомфарту необхідно провести градацію мешканців (або потенційних мешканців) відповідно до ступеня їх сприйняття і реакції на вплив факторів навколишнього середовища. Наприклад, діти (до 5 років) повинні розглядатись у групі з високим рівнем чутливості до таких впливів. Не менш важливим фактором, від якого залежить оцінювання людиною якості житла, є час та період її перебування всередині (режим проживання). Чим більше часу людина проводить у „замкнутому середовищі”, тим сильніше організм реагує на вплив зовнішніх чинників.

Для збереження здоров'я мешканців необхідно на етапі проектування житла розраховувати (та намагатись досягти мінімального значення) ступінь впливу будівлі на людину на енергетичному рівні. Характер такого впливу визначається показником питомої щільності біоенергетичного потоку (питомої енергетики впливу) [2]:

$$g = \frac{E_{\text{впливу}}}{m_{\text{людини}}}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – показник питомої енергетики впливу, Вт/кг;  $E_{\text{впливу}}$  – потужність біоенергетичного потоку з боку приміщення, кВт;  $m_{\text{людини}}$  – маса тіла людини, кг.

Як видно з формули (1), показник питомої енергетики впливу „замкнутого середовища” залежить від маси людини. Так, за однакового енергетичного потоку з боку будівлі, вплив на мешканців з меншою вагою (наприклад, на дітей) буде більшим. Якщо цей показник перевищує поріг 2500 Вт/кг, це сигналізує про патологічний вплив споруди на людей всередині [2]. Вплив можна вважати відсутнім, а відчуття людини на рівні „комфартно”, коли  $\gamma < 200$  Вт/кг.

Ступінь забезпечення житлового приміщення сонячною енергією залежить від площі та орієнтації за сторонами світу світлопрозорих елементів конструкції будівлі. За нормативними вимогами, мінімальною тривалістю безперервної інсоляції житлових приміщень є 2–2,5 год. На етапі проектування споруди необхідно забезпечити оптимальний рівень інсоляції приміщень – це підвищить рівень біокомфарту перебування людини всередині.

Надходження в приміщення сонячної енергії в теплий період року та негативний вплив характерних зовнішніх чинників у холодний період – призводять до коливань значень параметрів мікроклімату. Одним із залежних від дії чинників зовнішнього середовища показником є відносна вологість повітря. Оптимальними (або комфортними) межами значень цього параметра для організму людини є 50–60 %. Натомість показники відносної вологості нижчі за 40% і вищі за 65% викликають у людини відчуття дискомфорту перебування в приміщенні. В будь-кому випадку показник відносної вологості не оцінюється самостійно, а розглядається у співвідношенні із температурою повітря в середовищі. Чим вищим є значення температури повітря, тим нижчими є допустимі межі показника відносної вологості, – і навпаки.

Оптимальною для людини температурою повітря в житловому приміщенні є 20–22 °С. Незалежно від рівня чутливості людини до впливу чинників житлового середовища, значення цього параметра не повинно виходити за межі (17–26) °С. Показник температури повітря є одним з критеріїв оцінювання рівня теплового комфорту в „замкнутому середовищі”.

Основними параметрами мікроклімату, що визначають рівень теплового комфорту житлового приміщення для людини, є: температура повітря та температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій. За умов ідеальних теплоізоляційних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій (ЗОК) значення цих теплових параметрів будуть зрівноважені. Натомість, досягти таких умов в реальному житловому середовищі майже не можливо. Температура на внутрішній поверхні ЗОК залежить від зовнішніх (кліматичних) та внутрішніх (теплових) чинників. Умовами теплового комфорту [3] є забезпечення такого температурного режиму середовища, при якому людина ані всередині приміщення, ані близько нагрітих чи охолоджених поверхонь (зокрема, огорожувальних конструкцій) не відчувала б дискомфорту. Згідно з нормативними вимогами щодо теплоізоляційних характеристик ЗОК, максимальний допустимий перепад температур повітря та внутрішніх поверхонь стін дорівнює 4°C. Вплив зовнішніх чинників місцевості на огорожувальну конструкцію залежить від ступеня відкритості прилеглої території. Інтенсивність такого впливу на температуру на внутрішніх поверхнях ЗОК залежить від показника опору теплопровідності відповідних елементів конструкції. Спрямована дія вітрового потоку збільшує тиск повітря на конструкцію і тим самим погіршує її теплоізоляційні параметри. Залежно від коефіцієнта поглинання сонячної радіації зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції будівлі спостерігається різна інтенсивність впливу випромінювання на показник температури внутрішньої поверхні стін. Детальніше необхідність врахування, окрім температури зовнішнього повітря, впливу інших чинників на перепад температур в приміщенні описано в [1]. Оскільки відсутня ефективна математична залежність, на основі якої можливо розрахувати значення співвідношення параметрів теплового комфорту приміщення, виникає необхідність розробити компактну, зручну у застосуванні модель, що дасть змогу врахувати вплив основних чинників зовнішнього середовища на конструкцію будівлі, окремо для холодного та теплого періодів року.

### **Побудова моделі прогнозування теплових параметрів біокомфорту в приміщенні**

Для оцінювання співвідношення теплових параметрів приміщення розроблено компактну модель, що дає змогу розраховувати (та прогнозувати) значення температури на внутрішній поверхні ЗОК, відповідно до інтенсивності та характеру впливу зовнішніх та внутрішніх чинників на стінову конструкцію. Така модель складається із двох підмоделей, що характеризують, відповідно, інтенсивність впливу кліматичних факторів на стінову конструкцію залежно від періоду року (холодний чи теплий). Для вирішення поставленого завдання розроблено нечіткі моделі для відповідного контролера [4] та використано програму-генератор формул Equo [5] для побудови необхідних залежностей.

У процесі розроблення контролерів нечіткої логіки [4], що описують, відповідно, холодний та теплий періоди року, було введено лінгвістичні змінні та побудовано функції належності базових терм-множин, сформовано набори експертних правил. Основними параметрами (для нечіткої системи – лінгвістичними змінними), що характеризують вплив зовнішніх факторів на стінову конструкцію в холодний період року, є: температура повітря всередині приміщення ( $T_{in}$ ), температура зовнішнього повітря ( $T_{out}$ ), швидкість вітру ( $V_w$ ), опір теплопровідності ЗОК ( $R$ ). Для опису теплого періоду додатково задаються такі параметри (лінгвістичні змінні), як: інтенсивність впливу сонячного випромінювання ( $S_{inf}$ ) та коефіцієнт поглинання сонячної радіації вертикальною поверхнею огорожувальної конструкції (coef). Вихідною лінгвістичною змінною систем є температура внутрішньої поверхні ЗОК ( $T_{surf}$ ).

На вхід розроблених контролерів подавались вектори значень вхідних параметрів, що характеризують дію основних чинників на стінову конструкцію залежно від періоду року. В результаті одержано дві таблиці прогнозованих значень вихідної змінної. На основі одержаних результатів можна розробити компактну модель розрахунку (чи прогнозування) показника температури на внутрішній поверхні ЗОК, що задається в такому вигляді:

$$T_{surf} = \begin{cases} f_1(X_1), & \text{якщо } T_{out} < 20^\circ\text{C} \\ f_2(X_2), & \text{якщо } T_{out} \geq 20^\circ\text{C} \end{cases}, \quad (2)$$

де  $T_{surf}$  – температура внутрішньої поверхні ЗОК;  $T_{out}$  – температура зовнішнього повітря;  $f_1(X_1)$ ,  $f_2(X_2)$  – функції залежностей від векторів вхідних параметрів  $X_1$  та  $X_2$ ;  $X_1 = (T_{in} T_{out} V_w R)$  – вектор вхідних параметрів, що характеризує холодний період року;  $X_2 = (T_{in} T_{out} V_w S_{inf} coef R)$  – вектор вхідних параметрів, що характеризує теплий період року.

Для побудови функцій залежностей  $f_1(X_1)$  і  $f_2(X_2)$  використано програму-генератор формул Sapierware.Equo 2.1 [5]. Можливості програми дасть змогу генерувати формули чотирьох видів: лінійний поліном, лінійний поліном Паде, степеневий поліном, степеневий поліном Паде. Вибір як критерію навчання нейроподібних моделей, що є основою програми-генератора, лінійного полінома Паде дає змогу одержати точніші результати в процесі розроблення формули та забезпечить легкість у подальшому її застосуванні. Лінійний поліном Паде має вигляд раціонального дробу (3), в чисельнику і знаменнику якого є поліноми від первинних входів [5]:

$$f(X) = \frac{a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n}{1 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}, \quad (3)$$

де  $f(X)$  – вихідна змінна, що залежить від вхідного вектора  $X = (x_1 x_2 \dots x_n)$ ;  $(a_0 a_1 \dots a_n)$ ,  $(b_1 b_2 \dots b_n)$  – коефіцієнти поліному Паде.

Результати генерації полінома можна розглянути у спеціальному вікні робочого інтерфейсу програми (рис.1). На рис.1 показано результати навчання після застосування процедури оптимізації параметрів нейромоделі, що описує холодний період року: розкид даних залежності прогнозованих (на основі розробленого полінома) значень від очікуваних, одержані в процесі навчання похибки, коефіцієнти полінома Паде. Основою процедури оптимізації параметрів нейромоделі є використання методу „імітації відпалу металу” [5].

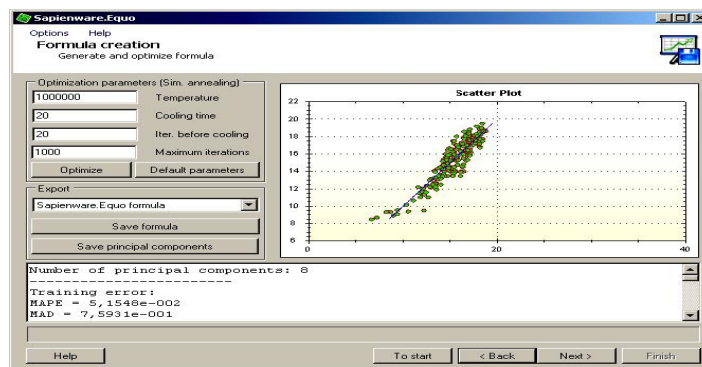


Рис. 1. Вікно статистичних результатів побудови полінома програмою-генератором формул Equo

На основі одержаних коефіцієнтів поліномів залежності  $f_1(X_1)$  і  $f_2(X_2)$  можна записати в готовому вигляді залежно від обраного періоду. Отже, згідно із (3) залежність  $f_1(X_1)$ , що описує холодний період, виглядає так:

$$f_1(X_1) = \frac{a_1 + a_1T_{in} + a_2T_{out} + a_3V_w + a_4R}{1 + b_1T_{in} + b_2T_{out} + b_3V_w + b_4R}, \quad (4)$$

де  $T_{in}$  – температура повітря всередині приміщення, °C;  $T_{out}$  – температура зовнішнього повітря, °C;  $V_w$  – швидкість вітру, м/с;  $R$  – опір теплопровідності огорожувальної конструкції,  $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$ ;  $(a_0 a_1 a_2 a_3 a_4)$  – коефіцієнти чисельника полінома Паде:  $a_0 = 3.246$ ;  $a_1 = 0.104$ ;  $a_2 = 0.328$ ;  $a_3 = -0.192$ ;  $a_4 = 6.751$ ;  $(b_1 b_2 b_3 b_4)$  – коефіцієнти знаменника полінома Паде:  $b_1 = -0.035$ ;  $b_2 = 0.014$ ;  $b_3 = -0.01$ ;  $b_4 = 0.375$ .

Залежність  $f_2(X_2)$  для розрахунку (та прогнозування) температури внутрішньої поверхні ЗОК у теплий період року виглядає так:

$$f_2(X_2) = \frac{a_1 + a_1T_{in} + a_2T_{out} + a_3V_w + a_4S_{inf} + a_5coef + a_6R}{0.1 + b_1T_{in} + b_2T_{out} + b_3V_w + b_4S_{inf} + b_5coef + b_6R}, \quad (5)$$

де  $T_{in}$  – температура повітря всередині приміщення, °C;  $T_{out}$  – температура зовнішнього повітря, °C;  $V_w$  – швидкість вітру, м/с;  $S_{inf}$  – інтенсивність впливу сонячної радіації, [0,1];  $coef$  – коефіцієнт поглинання сонячної радіації вертикальною поверхнею ЗОК;  $R$  – опір теплопровідності огорожувальної конструкції, м<sup>2</sup>°C/Вт; ( $a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6$ ) – коефіцієнти чисельника полінома Паде:  $a_0 = 443.2$ ;  $a_1 = -44.94$ ;  $a_2 = -3.44$ ;  $a_3 = 5.65$ ;  $a_4 = 52.93$ ;  $a_5 = 86.67$ ;  $a_6 = -22.02$ ; ( $b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6$ ) – коефіцієнти знаменника полінома Паде:  $b_1 = -1.28$ ;  $b_2 = 0.0001$ ;  $b_3 = 0.314$ ;  $b_4 = 3.076$ ;  $b_5 = 4.504$ ;  $b_6 = -1.72$ .

### Оцінювання параметрів теплового мікроклімату на основі розробленої моделі

Розроблена модель дає змогу врахувати основні чинники зовнішнього середовища, що відповідно до періоду року впливають на ЗОК і призводять до коливань значень температури її внутрішньої поверхні. Ефективність використання цієї моделі можна простежити (табл.1, табл. 2.), порівнявши результати прогнозування ( $T_{surf}$ ) зі значеннями розрахунку температури внутрішньої поверхні стіни ( $T_{surf\_c}$ ) на основі наявного співвідношення за законом теплопередачі в стаціонарних умовах [1], що враховує як зовнішній чинник місцевості лише температуру повітря.

Таблиця 1

#### Результати оцінювання співвідношення теплових параметрів приміщення на основі двох моделей для холодного періоду року

$T_{in}, ^\circ\text{C}$	$T_{out}, ^\circ\text{C}$	$V_w, \text{м/с}$	$R, \text{м}^2\text{°C/Вт}$	$T_{surf\_c}, ^\circ\text{C}$	$T_{surf}, ^\circ\text{C}$
16	-10	12	1,75	14,29	13,27
19,5	-14	10	0,74	14,30	12,44
18,5	6	3	2,1	17,82	17,39
18	-10	11	0,82	14,08	12,23
20	-16	13	1,55	17,33	15,15
19	15	13	2,6	18,82	18,13
17	-7	9	0,86	13,79	12,55

Врахування впливу такого зовнішнього чинника, як швидкість спрямованого вітрового потоку ( $V_w$ ) в холодний період року, дає доволі істотну різницю значень прогнозованого, на основі розробленої моделі ( $T_{surf}$ ) та розрахованого за наявним співвідношенням ( $T_{surf\_c}$ ), показника температури внутрішньої поверхні стіни. Зокрема, з табл. 1 видно, що за високих швидкостей вітру і недостатнього опору теплопровідності перепад температур повітря та внутрішніх поверхонь стін є значно вищим за допустимий показник (4 °C). Це призводить до відчуття людиною дискомфорту перебування в такому приміщенні, особливо близько поверхонь стін.

Таблиця 2

#### Результати оцінювання співвідношення теплових параметрів приміщення на основі двох моделей для теплого періоду року

$T_{in}, ^\circ\text{C}$	$T_{out}, ^\circ\text{C}$	$V_w, \text{м/с}$	$S_{inf}$	$coef$	$R, \text{м}^2\text{°C/Вт}$	$T_{surf\_c}, ^\circ\text{C}$	$T_{surf}, ^\circ\text{C}$
20,5	29	9	0	0,4	0,74	21,82	22,19
20	32	10	1	0,3	1,55	20,89	22,40
23	33	6	1	0,4	0,86	24,34	24,96
20	24	5	0	0,6	2,3	20,20	20,09
21	30	8	0,5	0,7	1,34	21,77	22,74
20	30	12	1	0,7	1,34	20,86	22,72
20,5	34	9	1	0,7	0,74	22,60	24,16

Як видно з табл. 2, в теплий період року важливо враховувати вплив як швидкості спрямованого вітрового потоку, так і сонячного випромінювання на зовнішню поверхню огорожувальних конструкцій житлових будівель.

Прогнозування співвідношення параметрів теплового мікроклімату на етапі проектування будівлі залежно від ступеня відкритості території та її кліматичних особливостей допоможе здійснити більш точний теплотехнічний розрахунок параметрів ЗОК для забезпечення високого рівня теплового комфорту в житлових приміщеннях.

Розроблена компактна модель дає змогу прогнозувати перепад температури повітря та температури на внутрішніх поверхнях стін ( $\Delta t$ ), що є важливим етапом оцінювання параметрів біокомфарту приміщення.

### **Розроблення нечіткої системи оцінювання рівня біокомфарту людини**

Розроблення такої нечіткої системи, як і моделей оцінювання співвідношення теплових параметрів, передбачає визначення лінгвістичних змінних, побудову функції належностей базових терм-множин та формування бази експертних правил. Вхідними параметрами системи оцінювання рівня біокомфарту (для контролера нечіткої логіки – лінгвістичними змінними) є: температура повітря всередині приміщення ( $T_{in}$ ), перепад температур повітря і внутрішньої поверхні ОК ( $\Delta t$ ), показник відносної вологості ( $\varphi$ ), рівень чутливості мешканця ( $sens$ ), режим проживання ( $res$ ), рівень інсоляції ( $insul$ ), питома енергетика впливу приміщення на людину ( $y$ ). Вихідним параметром (лінгвістичною змінною) є прогнозований рівень біокомфарту житлового середовища ( $PLC$ ).

Експертні правила побудовані відповідно до функціональних вимог контролера [4] і виглядають, для прикладу, так:

$PLC$  є „середній”, якщо  $T_{in}$  є „середня”, і  $\Delta t$  є „малий”, і  $\varphi$  є „середній”, і  $res$  є „середній”, і  $insul$  є „малий”, і  $y$  є „мала”, або якщо  $T_{in}$  є „середня”, і  $\Delta t$  є „малий”, і  $\varphi$  є „середній”, і  $insul$  є „великий”, і  $y$  є „середня”, або ...

Показник  $PLC$  характеризує значення комплексної оцінки параметрів біокомфарту приміщення для людини. Значення цього показника змінюються в межах 1...5. Оцінка  $PLC$ , що дорівнює 1, описує найгірше співвідношення параметрів біокомфарту і відповідає найнижчому рівню якості проживання потенційного мешканця (чи групи мешканців). Натомість рівень біокомфарту  $PLC$ , що дорівнює 5, характеризує найкраще співвідношення показників якості житла для відповідних мешканців.

### **Висновки**

Розроблення інтелектуалізованої системи оцінювання рівня біокомфарту житлового середовища на етапі проектування будівлі дасть змогу визначити критерії покращення якості умов проживання людини. На основі результатів прогнозування співвідношення параметрів мікроклімату, показників інсоляції приміщення та біоенергетичного впливу будівлі на людину можна правильно оцінити рівень біокомфарту мешканця в певному житловому середовищі. Розроблена компактна модель описує залежність співвідношення показників теплового мікроклімату від кліматичних особливостей території, орієнтації будівлі та характеристик будівельних елементів самої конструкції.

1. Машевська М. Побудова моделі оцінювання параметрів теплового комфорту на основі нечіткої логіки / М. Машевська, П. Ткаченко // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2010. – № 686 – С. 91–96. 2. Кузич Р.В. Розрахункова категорія – біоенергетичний комфорт // „Будуємо інакше”: Науково-популярний журнал. – Львів: Інтер-Вокс, 2004. – №4 – С. 33–36. 3. Еремкин А.И. Тепловой режим зданий: Учеб. пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 368 с. 4. T-controller workshop // Керівництво користувача. – Львів: Sapienware Corporation, 2011. 5. Equo // Керівництво користувача. – Львів: Sapienware Corporation, 2009.