

НЕЙРОНЕЧІТКІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БІОКОМФОРТУ ПРОЖИВАННЯ У МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДИНКАХ

© Машевська М., 2011

Досліджено основні параметри внутрішнього середовища житлового будинку, їх співвідношення та характер впливу цих показників на комфорт проживання людини. Описано процес побудови моделей для обчислення значень параметрів біокомфОРТУ житлового середовища. Розглянуто етапи розроблення нейронечітких моделей для оцінювання рівня біокомфОРТУ у малоповерхових житлових будинках.

Ключові слова: рівень біокомфОРТУ, житло, нечіткий контролер, нейронечітке моделювання.

The basic parameters of internal environment of dwelling-house, their correlation and character of influence of these indexes on the comfort of residence of a human are researched. The process of constructing the models for the calculating the values of parameters of biocomfort in housing environment is described. Stages of the design of neuro-fuzzy models for the evaluation of level of biocomfort in low-rise dwelling-houses are considered.

Key words: level of biocomfort, dwelling, fuzzy controller, neuro-fuzzy modelling.

Вступ

Якість житла оцінюють, як мінімум, за двома критеріями: ступенем задоволення мешканців атмосферою створеного житлового середовища та характером впливу цього "замкнутого простору" на людський організм. Відповідно до другого критерію основним призначенням житла є захист людини від несприятливого впливу зовнішнього середовища із забезпеченням комфортних умов проживання для збереження та відновлення здоров'я мешканців. Досягти таких умов у будинку можна, добившись оптимальних показників житлового середовища. Відповідність співвідношення значень основних внутрішніх параметрів житла вимогам проектування комфортного середовища проживання визначають за показником рівня біокомфОРТУ.

Постановка проблеми

Дослідження характеру впливу внутрішнього простору житлового будинку на людський організм зводиться до аналізу показників, їх коливань та співвідношень значень основних параметрів цього середовища. Показник рівня біокомфОРТУ характеризує ступінь відповідності співвідношення значень основних параметрів житлового середовища оптимальним умовам для проживання людини. Розроблені методи та моделі для прогнозування рівня комфорту людини у житловому середовищі (зокрема, описані в [1]) не дають змоги швидко та повною мірою оцінити якість житлового середовища, оскільки переважно зорієнтовані на дослідження теплового комфорту, а не загального показника біокомфОРТУ проживання. Основними чинниками житлового середовища, показники яких необхідно враховувати для оцінювання рівня біокомфОРТУ, є: параметри мікроклімату, рівень природного освітлення приміщень та біоенергетичний обмін між людиною та будинком [2]. Оптимальним (комфортним) співвідношенням показників мікроклімату є таке, за якого організм людини не відчуває напруження системи терморегуляції під час перебування всередині житлового середовища. Оцінювання показників середовища на відповідність високому рівню біокомфОРТУ залежить від чутливості організму мешканця до впливів зовнішніх факторів та тривалості його перебування у будинку.

Для побудови математичної залежності показника рівня біокомфарту від основних внутрішніх параметрів житлового середовища доцільно використовувати методи та засоби нейронечіткого моделювання. На першому етапі побудови моделі потрібно розробити контролер нечіткої логіки для оцінювання параметрів біокомфарту на основі вхідних показників внутрішнього середовища будинку. На підставі одержаних числових залежностей за допомогою відповідного генератора формул [3] необхідно розробити компактну та зручну в застосуванні математичну модель для оцінювання та прогнозування рівня біокомфарту як в процесі експлуатації малоповерхового житлового будинку, так і на етапах його проектування та будівництва.

Параметри біокомфарту у малоповерховому будинку

Основними параметрами, що характеризують стан внутрішнього середовища житлового будинку і визначають рівень біокомфарту проживання людини, є: показники мікроклімату, рівень природного освітлення кімнат протягом часу перебування людини в них та ступінь біоенергетичного впливу споруди на людину [2]. В процесі експлуатації будинку мешканці мають змогу самостійно встановлювати та підтримувати температурний та вологісний режими у потрібних межах. Згідно з [4] комфортною для дорослої людини є температура повітря в приміщенні в межах 20–22 °С для холодного періоду і 22–24 °С для теплого періоду року. Відносну вологість житлового приміщення для забезпечення умов комфорту потрібно підтримувати в межах 40–75 %. Для сталого рівня біокомфарту співвідношення показників мікроклімату повинно бути таким, щоб із підвищенням температури повітря коефіцієнт відносної вологості зменшувався [4], і навпаки.

Важливим параметром теплового мікроклімату є температура внутрішньої поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції (ЗОК). Згідно з вимогами до проектування житлового будинку, нормативний перепад між температурою повітря та температурою внутрішньої поверхні ЗОК становить 4 °С [5] (за [4] – 3 °С). Для обчислення температури внутрішньої поверхні ЗОК використовують рівняння теплопередачі за стаціонарних умов [5]:

$$t_{ВП} = t_B - \frac{t_B - t_3}{R_0 \cdot \alpha_B}, \quad (1)$$

де $t_{ВП}$ – температура на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції, °С; t_B – температура повітря всередині приміщення, °С; t_3 – температура зовнішнього повітря, °С; R_0 – загальний опір теплопровідності ЗОК, м²·°С/Вт; α_B – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні захисного шару стіни, приймається за додатком В [5], Вт/м²·°С.

В разі додаткового несприятливого впливу зовнішніх факторів території забудови у зимовий та літній періоди значення показника температури внутрішньої поверхні стіни виходить за встановлені межі [6]. На етапі проектування будинку необхідно враховувати вплив таких додаткових факторів території, як напрямленого вітрового потоку та сонячного випромінювання, відповідно до орієнтації стіни за сторонами світу.

Для підтримання комфортних умов проживання людини приміщення слід достатньо забезпечити природним освітленням. Значення цього показника залежить передовсім від площі та орієнтації за сторонами світу світлопрозорих елементів, ступеня відкритості території огляду та коефіцієнта відбиття фону стін приміщення.

Всередині будинку, через його конструкцію, між людиною та зовнішнім середовищем виникає обмін тепловою енергією, що характеризується показником щільності біоенергетичного потоку [2]. Чим вищим є значення цього показника, тим сильніше тепла енергетика будинку впливає на організм мешканця.

Інтенсивність та характер впливу параметрів житлового середовища на людину залежать від ступеня чутливості її організму до коливань значень відповідних зовнішніх чинників. Крім того, чим довше людина перебуває в будинку, тим точніше треба оцінювати співвідношення показників внутрішнього середовища, щоб досягти високого рівня біокомфарту.

Моделювання значень параметрів біокомфарту в приміщенні на основі засобів нечіткої логіки

На етапах збору та передобробки даних для розроблення моделі біокомфарту необхідно розрахувати ступінь природного освітлення у житловому середовищі. Найвні моделі є доволі громіздкими і водночас не дають змоги в необхідній формі оцінити значення цього параметра з погляду рівня біокомфарту. Розробляючи модель оцінювання ступеня природного освітлення житлового середовища на першому етапі, відповідно до впливу цього показника на організм мешканців, доцільно використати засоби нечіткої логіки та побудувати відповідний контролер.

Для розроблення нечіткого контролера (рис. 1) введено лінгвістичні змінні, побудовано функції належності базових терм-множин та сформовано набір експертних правил. Вхідними параметрами контролера є: коефіцієнт засклення приміщення (S_{gl}); показник відкритості території (OS); коефіцієнт відбиття фону приміщення (CR). Вихідною змінною є ступінь забезпечення житлового середовища природним освітленням ($insol$).

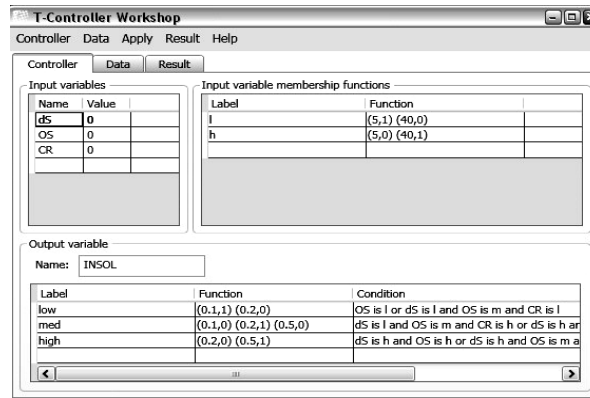


Рис. 1. Робоче вікно для розроблення нечіткого контролера в середовищі TController Workshop [7]

На вхід розробленого контролера подавались вектори значень вхідних параметрів, які характеризують дію основних факторів, що впливають на рівень природного освітлення. В результаті одержано таблицю значень ступеня природного освітлення для різних приміщень. На основі одержаних результатів за допомогою програми-генератора формул Sapientware.Equo 2.1 [3] розроблено модель у вигляді формули Паде (формула (2) показана після процедури масштабування) для визначення показника природного освітлення в приміщенні:

$$insol = \frac{a_0 + a_1 S_{gl} + a_2 OS + a_3 CR}{10 + b_1 S_{gl} + b_2 OS + b_3 CR}, \quad (2)$$

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

Для орієнтації вікон за сторонами світу – північний схід, північ, північний захід:

$$a_0 = 0,59; a_1 = -0,012; a_2 = 2,003; a_3 = 0,009;$$

$$b_1 = -0,157; b_2 = 2,96; b_3 = -3,918.$$

Для світлопрозорих елементів з орієнтацією в межах схід-південь-захід:

$$a_0 = 0,75; a_1 = -0,015; a_2 = 2,56; a_3 = 0,011;$$

$$b_1 = -0,16; b_2 = 2,96; b_3 = -3,92.$$

Так, для приміщень з орієнтованими на південний схід вікнами з площею скління 20 %, за умов високої відкритості території та світлого фону внутрішніх стін ($CR = 0,5$) показник денного освітлення дорівнює 0,39.

Щоб підвищити точність оцінювання параметрів біокомфарту, необхідно на етапі прогнозування температури внутрішньої поверхні ЗОК враховувати вплив додаткових несприятливих

факторів зовнішнього середовища [6]. Засобами нейронечіткого моделювання розроблено розширену математичну модель для обчислення температури внутрішньої поверхні стіни (3):

$$T_{surf} = \begin{cases} (1+k_1)t_{ВП}, & \text{якщо } T_{out} \leq 5^\circ\text{C} \\ t_{ВП}, & \text{якщо } 5^\circ\text{C} < T_{out} < 20^\circ\text{C} \\ (1+k_2)t_{ВП}, & \text{якщо } T_{out} \geq 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3)$$

де T_{surf} – температура внутрішньої поверхні стіни із урахуванням впливу додаткових факторів зовнішнього середовища, $^\circ\text{C}$; T_{out} – температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$; $t_{ВП}$ – температура внутрішньої поверхні ЗОК, обчислена згідно з (1), $^\circ\text{C}$; k_1 – коефіцієнт, що характеризує додатковий вплив зовнішніх факторів у зимовий період і обчислюється за (4):

$$k_1 = \frac{a_0 + a_1 T_{out} + a_2 V_w + a_3 R + a_4 I_m}{10 + b_1 T_{out} + b_2 V_w + b_3 R + b_4 I_m}, \quad (4)$$

де T_{out} – температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$; V_w – швидкість вітру, м/с; R – опір теплопровідності огорожувальної конструкції, $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$; I_m – показник, що характеризує ступінь доступу вологи у стінову конструкцію; $(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4)$ – коефіцієнти чисельника полінома Паде:

$$a_0 = -0,21; \ a_1 = 0,0098; \ a_2 = -0,02; \ a_3 = 0,15; \ a_4 = -0,16;$$

$(b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4)$ – коефіцієнти знаменника поліному Паде:

$$b_1 = 0,056; \ b_2 = -0,61; \ b_3 = 0,74; \ b_4 = -1,23.$$

k_2 – коефіцієнт, що характеризує додатковий вплив зовнішніх факторів у літній період, обчислюється відповідно до (5):

$$k_2 = \frac{a_0 + a_1 T_{out} + a_2 \Delta t + a_3 V_w + a_4 S_{inf} + a_5 coef + a_6 R}{10 + b_1 T_{out} + b_2 \Delta t + b_3 V_w + b_4 S_{inf} + b_5 coef + b_6 R}, \quad (5)$$

де T_{out} – температура повітря ззовні, $^\circ\text{C}$; Δt – різниця температур ззовні та всередині приміщення, $^\circ\text{C}$; V_w – швидкість вітру, м/с; S_{inf} – інтенсивність впливу сонячної радіації, що характеризується орієнтацією стіни за сторонами світу та ступенем відкритості зовнішньої території; $coef$ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації вертикальною поверхнею ЗОК; R – опір теплопровідності огорожувальної конструкції, $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$; $(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6)$ і $(b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5 \ b_6)$ – коефіцієнти полінома Паде:

$$a_0 = 0,099; \ a_1 = -0,008; \ a_2 = 0,011; \ a_3 = 0,0085; \ a_4 = 0,097; \ a_5 = 0,198; \ a_6 = -0,026;$$

$$b_1 = -0,296; \ b_2 = 0,0049; \ b_3 = -0,049; \ b_4 = -0,42; \ b_5 = 0,64; \ b_6 = 1,42.$$

Розроблення нейронечіткої моделі для оцінювання рівня біокомфарту

На першому етапі розроблення нейронечіткої моделі для оцінювання рівня біокомфарту проживання у малоповерхових будинках необхідно розробити контролер нечіткої логіки. Для цього використовують програмне середовище TController Workshop [7] (рис. 2). Вхідними параметрами розробленого контролера є: температура повітря всередині приміщення (T_{in}), максимальна різниця між температурою повітря і температурою внутрішньої поверхні ЗОК (Δt), показник відносної вологості (φ), рівень чутливості мешканця ($sens$), режим проживання (res), ступінь природного освітлення житлового середовища ($insol$), питома енергетика впливу будинку на людину (γ). Вихідним параметром є прогнозований рівень біокомфарту житлового середовища (PLC). Для вихідної змінної PLC базова терм-множина виглядає так: {“very_low”, “low”, “medium”, “high”, “very_high”}, що описує, відповідно, “1”, “2”, “3”, “4” та “5” рівні біокомфарту.

Експертні правила побудовані відповідно до функціональних вимог контролера і виглядають, для прикладу, коли PLC є *very_high*, так:

Tin is med and dt is high and RH is med and sens is low and res is low and y is low and insol is high or Tin is med and dt is low and RH is med and y is low and insol is high or Tin is med and dt is low and RH is med and res is low and y is low and insol is low or...

Для тестування розробленого нечіткого контролера на його входи подано вектори значень вхідних параметрів, що характеризують показники основних чинників житлового середовища. На

виході контролера одержано набір залежностей числових значень показника рівня біокомфарту у малоповерхових будинках від параметрів певного житлового середовища.

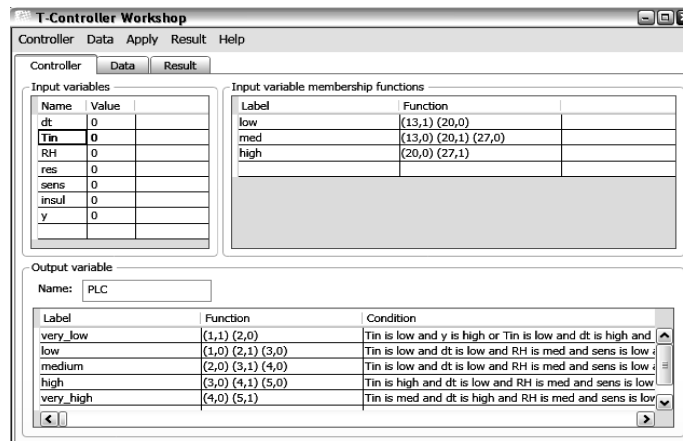


Рис. 2. Розроблення нечіткого контролера для моделі оцінювання рівня біокомфарту

Наступним етапом побудови нейронечіткої моделі було розроблення математичного співвідношення на основі одержаних числових значень. Для побудови відповідної залежності використано програму-генератор формул Sapienware.Equo 2.1 [3]. Основою процесу генерування формул є навчання нейроподібних моделей. Для поставленої задачі критерієм для навчання нейромоделі вибрано лінійний поліном Паде [3, 6]. Для оптимізації згенерованої залежності використано метод “імітації відпалу металу”, що покращило результат на 7%. Результати генерації полінома можна розглянути у спеціальному вікні робочого інтерфейсу програми (рис. 2).

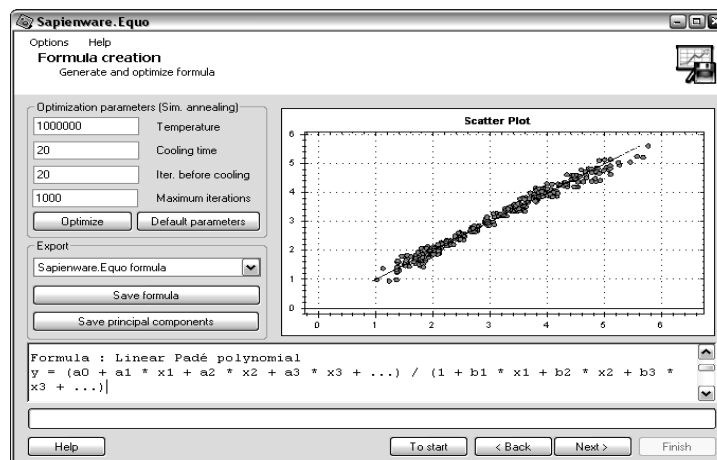


Рис. 3. Вікно статистичних результатів генерування формули програмою-генератором формул Equo

На етапі генерації формули виявилось, що вхідні дані треба поділити на два класи, відповідно до температури повітря у приміщенні. Отже, модель оцінювання рівня біокомфарту складається із двох підмоделей:

$$PLC = \begin{cases} f_1(X), & \text{якщо } T_{in} < 21^\circ\text{C} \\ f_2(X), & \text{якщо } T_{in} \geq 21^\circ\text{C} \end{cases} \quad (6)$$

де PLC – показник рівня біокомфарту; T_{in} – температура повітря в житловому середовищі, $^\circ\text{C}$; $f_1(X)$ і $f_2(X)$ – лінійні поліноми Паде, що описують залежності показника рівня біокомфарту від вхідного вектора параметрів житла $X = \{T_{in}, \Delta t, \varphi, sens, res, \gamma, insul\}$, відповідно до температури повітря всередині.

У результаті генерації поліномів одержано коефіцієнти для залежностей $f_1(X)$ і $f_2(X)$, які в загальному випадку можна записати так:

$$f(X) = \frac{a_0 + a_1 T_{in} + a_2 \Delta t + a_3 j + a_4 sens + a_5 res + a_6 g + a_7 insol}{1 + b_1 T_{in} + b_2 \Delta t + b_3 j + b_4 sens + b_5 res + b_6 g + b_7 insol}, \quad (7)$$

де T_{in} – температура повітря у житловому середовищі, °C; Δt – максимальний перепад між температурою повітря та температурою внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, °C; φ – відносна вологість повітря, %; $sens$ – рівень чутливості мешканця (або групи мешканців); res – режим проживання, відповідно до тривалості перебування людини у будинку; γ – показник біоенергетичного впливу будинку на людину, Вт/кг; $insol$ – ступінь 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 полінома Паде.

Так, для експлуатаційних умов з температурою повітря $T_{in} < 21$ °C (для $f_1(X)$):

$a_0 = 416,73$; $a_1 = -56,03$; $a_2 = 7,51$; $a_3 = -1,88$; $a_4 = 69,62$; $a_5 = 38,52$; $a_6 = 0,04$; $a_7 = -360,02$;

$b_1 = -5,40$; $b_2 = -6,90$; $b_3 = -0,46$; $b_4 = -4,25$; $b_5 = -0,19$; $b_6 = -0,05$; $b_7 = -1,08$.

Для експлуатаційних умов з температурою повітря $T_{in} \geq 21$ °C (для $f_2(X)$):

$a_0 = 126,3$; $a_1 = -2,01$; $a_2 = -0,26$; $a_3 = -0,15$; $a_4 = -19,38$; $a_5 = 0,008$; $a_6 = -0,01$; $a_7 = 30,75$;

$b_1 = 0,65$; $b_2 = 0,83$; $b_3 = -0,004$; $b_4 = -2,86$; $b_5 = 0,53$; $b_6 = 0,002$; $b_7 = -2,31$.

Результати оцінювання рівня біокомфарту на основі розробленої моделі

За допомогою розробленої моделі (6) можна оцінити рівень біокомфарту, відповідно до вхідних показників, що характеризують певне житлове середовище. Значення показника PLC коливаються в межах від 1 до 5. Так, оцінка “1” означає найнижчий рівень біокомфарту і сигналізує про порушення вимог щодо співвідношення внутрішніх параметрів житла. PLC “5” відповідає найвищому показнику якості внутрішнього середовища будинку для проживання людини. Показник PLC_{γ} у табл. 1 і табл. 2 характеризує уточнений показник рівня біокомфарту і використовується для унаочнення результатів.

Таблиця 1

Результати оцінювання рівня біокомфарту для експлуатаційних умов з температурою повітря $T_{in} < 21$ °C

T_{in} , °C	Δt , °C	φ , %	$sens$	res	γ , Вт/кг	$insol$	PLC	PLC_{γ}
15,5	3	69	0	3	300	0,25	3,44	3,5
16	2,5	58	1	3	1710	0,37	1,99	2
18	1,5	74	0,5	1	935	0,39	3,90	4
19	2	79	1	3	2117	0,37	2,40	2,5
20	1,5	55	1	1	578	0,24	4,24	4
20	1,5	55	0	2	578	0,39	4,83	5
20,5	3	51	0,5	3	400	0,34	4,41	4,5

Таблиця 2

Результати оцінювання рівня біокомфарту для експлуатаційних умов з температурою повітря $T_{in} \geq 21$ °C

T_{in} , °C	Δt , °C	φ , %	$sens$	res	γ , Вт/кг	$insol$	PLC	PLC_{γ}
23	1	62	0,5	2	394	0,11	3,62	3,5
21,5	3	73	1	1	500	0,16	3,37	3,5
23	0,5	42	0	3	274	0,4	4,79	5
21	2	55	0,5	3	274	0,38	4,70	4,5
26	1,9	45	1	2	382	0,27	2,96	3
23	1	65	1	3	1491	0,34	2,66	2,5
23	1	65	0	3	1491	0,34	3,24	3
24	1,5	55	0,5	2	507	0,37	3,81	4

Як видно з табл. 1 і табл. 2, досягти “5” рівня біокомфарту на етапі експлуатації житла можливо за умов дотримання, так званих, “вимог стабільності”. *PLC*, що дорівнює 5, характеризує оптимальні співвідношення показників якості житла для відповідних мешканців.

Оскільки відсутні попередні експериментальні дані (еталонна модель) щодо визначення рівня біокомфарту людини в житловому середовищі за різних умов проживання, одержані результати кваліфіковані експерти оцінили як адекватні на основі знань про вплив зовнішніх факторів житлового середовища на організм людини, залежно від рівня її чутливості до таких чинників.

Висновки

У статті запропоновано розв’язання поставленої задачі за допомогою розроблення нової нейронечіткої моделі для оцінювання рівня біокомфарту у малоповерхових будинках. Використовуючи виведені математичні співвідношення для прогнозування значень параметрів біокомфарту на етапі збору даних, можна врахувати достатню кількість вхідних показників житлового середовища для підвищення якості моделі. Розроблені нейронечіткі моделі можуть застосовуватись як на етапі вибору та розрахунків конструктивних вирішень житлової будівлі для забезпечення оптимальних характеристик комфорту проживання людини, так і в процесі експлуатації житла мешканцями. Прогнозування співвідношення параметрів мікроклімату, показника інсоляції (освітлення) приміщення та біоенергетичного впливу будинку на людину, на основі кліматичних факторів території, орієнтації будівлі та характеристик самої конструкції, допоможе правильно оцінити рівень біокомфарту в певному житловому середовищі, щоб покращити якість проживання людей.

1. Fanger P.O. *Thermal Comfort*. – New York: McGraw-Hill Book Company, 1972. – 244 p. 2. Кузич Р.В. Розрахункова категорія – біоенергетичний комфорт // *Будуємо інакше: Науково-популярний журнал*. – Львів: Інтер-Вокс, 2004. – № 4. – С. 33–36. 3. Equo // *Керівництво користувача*. – Львів: Sapientware Corporation, 2009. – 27 с. 4. Блази В. *Справочник проєктувальника. Строительная физика*. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с. 5. *Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.3-31:2006*. – (Чинний від 2007-04-01) // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. 6. Ткаченко Р.О. *Елементи архітектури для інтелектуальної системи побудови математичної моделі прогнозування рівня теплового комфорту* / Р.О. Ткаченко, М.В. Машевська // *Зб. наук.-техн. пр. Національного лісотехнічного університету України*. – Львів: Вид-во НЛТУ України, 2011. – Вип. 21.10 – С. 284–290. 7. *T-controller workshop* // *Керівництво користувача*. – Львів: Sapientware Corporation, 2011. – 11 с.