

Багатопараметрична оцінка середовища будівель з використанням точкового числення прямий шлях до їх енергоефективності

Володимир Єгорченков

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
egval@ukr.net, orcid.org/000-0003-2910-0331

DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.38-46

Анотація. Згідно закону оптимуму в екології, кожний фактор має відповідний діапазон (зона оптимуму), в якому людина почуває собі прекрасно. Якщо значення фактору виходять поза цього діапазону організм пригнічується. При формуванні середовища в будівлях важливо, щоб значення факторів в максимальному ступеню наближались до зони оптимуму. Тому ціллю даної роботи є розробка комплексної оцінки діючих на людину різноманітних факторів. В якості критерія оцінки в даній роботі прийнято продуктивність праці. Хоча можуть бути використані і інші критерії, наприклад, критерії енергоефективності. В роботі криві зміни продуктивності праці від того чи іншого фактору описувалися точковими рівняннями. Для практичної реалізації приймалося три фактори: температура і вологість повітря в приміщенні, а також кутлова висота світлового вектору. Криві зміни продуктивності праці від цих факторів сполучалися на один графік. По осі абсцис відкладались значення факторів в долях одиниць від комфортних значень. Це дало змогу визначити коефіцієнти впливу факторів друг відносно друга. Для комплексної оцінки формувались точкові множини поверхонь розрахункових або вимірних значень. Використавши формулу коефіцієнта варіації, визначалося середнє відхилення від комфортного значення за кожним фактором. В завершенні визначалось середньозважене значення відхилу за всіма оцінюваними факторами з урахуванням коефіцієнтів впливу. Найкраще рішення середовища в будівлі буде те, в якому середньозважений критерій оцінки приймає мінімальне значення. Ці результати досліджень дозволять формувати ефективне



Володимир Єгорченков
доцент кафедри
архітектурних конструкцій
к.т.н., доц.

середовище в будівлях при мінімальних витратах енергії і коштів, що підвищить рівень енергоефективності будівель. Результати досліджень цієї роботи доведено до розробки алгоритму.

Ключові слова. Закон оптимуму, комплексна оцінка, продуктивність праці, точкове числення, коефіцієнти впливу, комфортні значення.

ВСТУП

Згідно закону оптимуму в екології [1], кожен фактор має відповідний діапазон, при якому організм відчуває собі прекрасно. Цей діапазон називається зоною оптимуму. Вихід величини фактору з цієї зони як в один, так і в інший бік пригнічує організм. І чим більше відхилення від зони оптимуму, тим більше організм пригнічується.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Людина постійно знаходиться під впливом різноманітних факторів: температура, світло, радіація, звук та ін. [2] Коли зна-

чення того чи іншого параметру знаходяться в зоні оптимуму, то по перше, це позитивно відображається на здоров'ї людини, по друге, продуктивність праці знаходиться на високому рівні

Це підтверджується низкою досліджень [3-4]. І навпаки, при виході із цього діапазону погіршується самопочуття, знижується продуктивність праці, швидше з'являється утомля і т.п.

Однак на людину можуть діяти відразу декілька різномірних за своєю фізичною суттю факторів, які в тому або іншому ступеню надають вплив на продуктивність праці: температура, освітленість, звукове поле, вологість повітря та ін. Так, наприклад, при проектуванні теплової ізоляції будівель [5] нормуються такі параметри: опір теплопередачі, температурний перепад, мінімальна температура внутрішньої поверхні, та ін. Те ж саме дотикається і інших галузей [6-10]. Ці фактори впливають не однаково один відносно до другого. Більш того, зміна одного фактору може впливати на сприйняття іншого, і навпаки. Тому встає питання при проектуванні середовища, як правильно зробити комплексу оцінку діючих факторів. Це вирішувалось в основному за допомогою інтуїції фахівців. В роботах [11-14] була зроблена спроба оцінити низку факторів, але це вирішено з невеликою точністю і це дотикалось тільки світлових факторів, які впливають на продуктивність зорової праці.

Завдання фахівців полягає в тому, щоби знайти такий варіант будівлі, який здійснює параметри середовища в зоні оптимуму, або близько до нього, і на це витрачається б мінімальна кількість енергії. Тільки в цьому випадку будівля буде мати максимальну енергоефективність

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ.

Ціллю даної роботи є розробка методу комплексної оцінки діючих на людину різномірних за своєю фізичною суттю екологічних факторів, яка буде сприяти покращенню здоров'я людини і підвищенню

продуктивності праці для формування комфортного середовища в приміщеннях при мінімальних витратах енергії з використанням точкового числення.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Якщо прийняти в якості основного критерію оцінки впливу того чи іншого фактору на стан людини, наприклад, продуктивність праці, то практика наукових досліджень наробила немало попиту в справі вивчення впливу різноманітних факторів на цей критерій.

Так Даніелс К. [3] досліджував вплив температури на продуктивність розумової праці (рис. 1а). В [4] представлені дані про вплив вологості приміщення (рис. 1б), в [13] досліджувалося вплив характеристик освітлення (рис. 1в). Подібні дослідження описані також в [15, 16].

Для оцінки візьмемо: температуру, вологість і, наприклад, кутову висоту світлового вектору (крива 3, рис. 1в), яка має найбільший із світлотехнічних факторів вплив. Ці фактори, як видно з графіків мають різну фізичну основу, різні одиниці вимірювання і різний вплив на людину. Це відзнаки.

Але щоб здійснити комплексну оцінку, треба знайти загальні риси. По перше, всі ці фактори підкоряються закону оптимуму. По друге, всі вони мають максимуми в точці найбільш приємного (комфортного) сприйняття людиною даного фактору. Ці риси і будемо урахувати при розробці методу оцінки.

Якщо сумістити всі криві на одну позначку осі абсцис, яка відповідає комфортному стану людини, а масштаб цієї осі вибрати не в абсолютних одиницях, а у відносних, по відношенню до комфортного значення, то отримаємо картину, за допомогою якої можна порівнювати ці показники (рис. 2).

Як бачимо, перша (рис. 1а) і третя (рис. 1в) криві мають форму еліпса, а друга крива (рис. 1б) має форму параболи. В точковому численні [17] еліпси і параболи

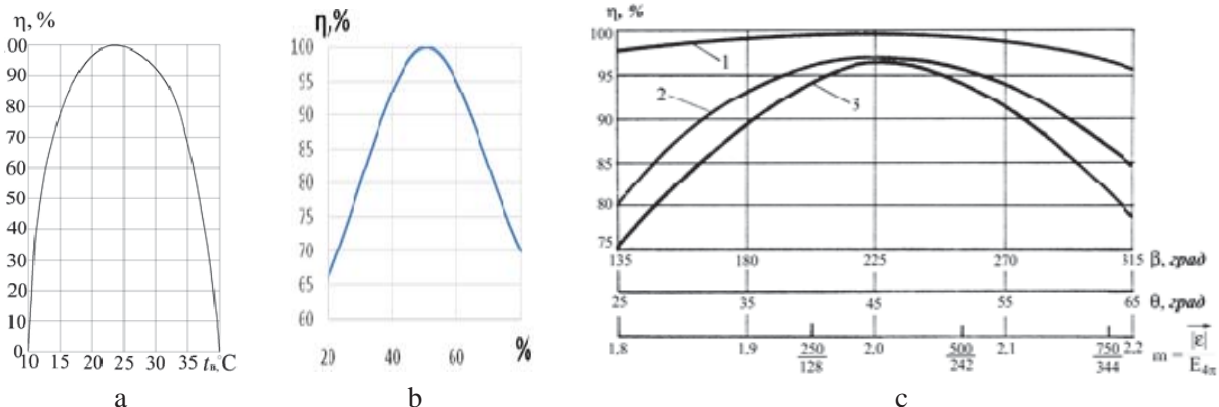


Рис.1. Графіки впливу різних факторів на продуктивність праці (η , %) в абсолютних одиницях: а – температура; б – вологість; с – освітленість.

Fig.1. Graphs of the influence of various factors on labor productivity (η , %) in absolute units: a – temperature; b – humidity; c – illumination.

мають наступні рівняння (1), (3) і (2) відповідно. Ці рівняння вказують на залежність продуктивності праці від температури t , вологості φ і кутової висоти світлового вектору θ . Перше рівняння в симплексі ABC (характерні точки, які задаються із експериментальних або розрахункових даних). Наступне рівняння (2) в симплексі

$A_1B_1C_1$, і останнє рівняння (3) в симплексі $A_2B_2C_2$.

Вже із рис. 2 видно не однозначність впливу факторів і їх значущість. Самий більший вплив із трьох представлених має температура. Саме менше – кутова висота світлового вектору.

$$M_t = A \frac{(1-u)(1-2u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + B \frac{u(2u-1)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + C \frac{2u(1-u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)}, \quad (1)$$

$$M_\varphi = A_1(1-u)(1-2u) + 4C_1u(1-u) + B_1u(2u-1), \quad (2)$$

$$M_\theta = A_2 \frac{(1-u)(1-2u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + B_2 \frac{u(2u-1)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)} + C_2 \frac{2u(1-u)}{(1-2u)^2 + 2u(1-u)}; \quad (3)$$

$$\kappa_{\varphi t} = \frac{M_\varphi}{M_t} = \frac{q[A\kappa_{\varphi a}(1-u)(1-2u) + 4C\kappa_{\varphi c}u(1-u) + B\kappa_{\varphi b}u(2u-1)]}{A(1-u)(1-2u) + Bu(2u-1) + C2u(1-u)}; \quad (4)$$

$$q = (1-2u)^2 + 2u(1-u);$$

$$\kappa_{\theta t} = \frac{M_\theta}{M_t} = \frac{A\kappa_{\theta a}(1-u)(1-2u) + B\kappa_{\theta b}u(2u-1) + 2C\kappa_{\theta c}u(1-u)}{A(1-u)(1-2u) + Bu(2u-1) + 2Cu(1-u)}.$$

де: M_t , M_φ , M_θ – текучі точки на відповідних кривих; u – параметр рівнянь, який визначає три криві, змінюється від 0 до 1:

$$u = \frac{i}{m}, \quad (5)$$

i – порядковий номер точки сканування, $i = 0, 1, 2, \dots, m$; m – кількість прийнятих точок сканування, залежить від прийнятої точності.

Підраховуємо коефіцієнти впливу відносно температури повітря в приміщенні (4):

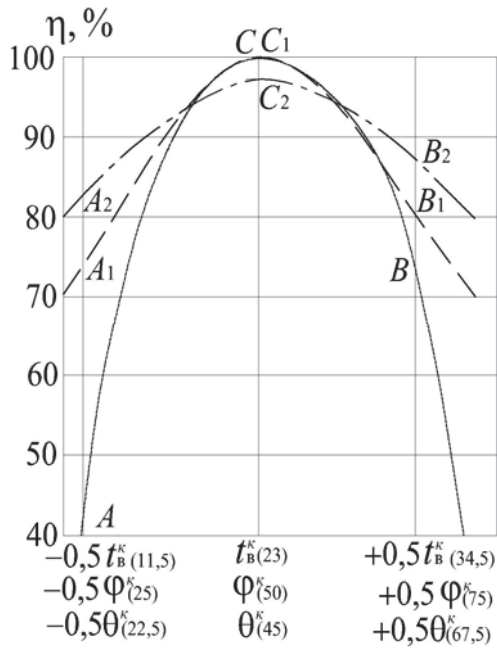


Рис.2. Графіки впливу різних факторів на продуктивність праці у відносних одиницях.

Fig.2. Graphs of the influence of various factors on labor productivity in relative.

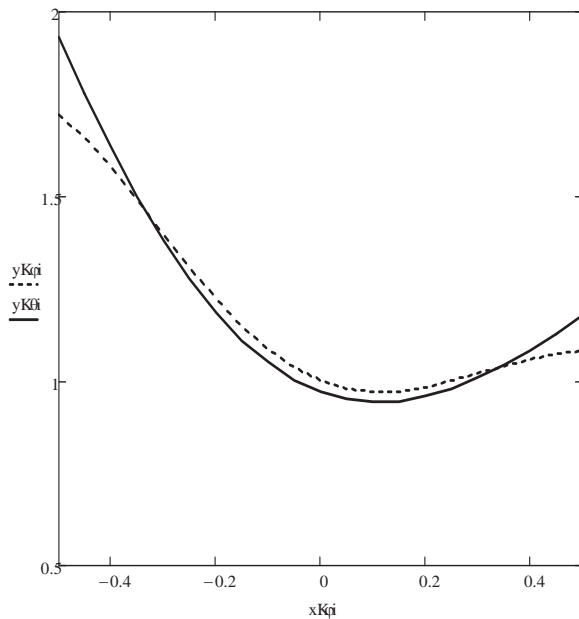


Рис.3. Криві коефіцієнтів впливу на продуктивність праці.

Fig.3. Curves of coefficients of influence on labor productivity.

$$K_{\varphi a} = \frac{A_1}{A}, \dots, K_{\theta c} = \frac{C_2}{C}. \quad (6)$$

Тут: $K_{\varphi t}$ - коефіцієнт впливу вологості повітря відносно його температури; $K_{\theta t}$ - те ж саме, кутової висоти світлового вектору; $K_{\varphi a}, K_{\varphi \theta}, K_{\varphi c}, K_{\theta a}, K_{\theta \theta}, K_{\theta c}$ - коефіцієнти впливу в характерних точках відповідних кривих.

Реалізація отриманих рівнянь в середовищі MathCAD представлена на Рис. 3.

Оцінка середовища будівлі може вирішуватись двома шляхами. Перший – в абсолютному плані. Підраховується сума відхилень від комфортного значення у всіх точках. Другий відносний. Спочатку знаходиться найкращий варіант або першим шляхом, або на підставі експериментальних даних (еталонний варіант), а потім вже порівняння здійснюється всіх варіантів відносно еталонного.

Для визначення оціночного показника за кожним параметром можна використати формулу коефіцієнта варіації з математичної статистики.

Перший шлях. Формується множина розрахункових точок методом точкового числення [19]. Підраховується критерій оцінки по кожному фактору, C_{Np} , за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} C_{1p} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{1ij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}; \\ C_{2p} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{2ij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}; \\ &\dots \\ C_{Np} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{Nij} - D_k) / D_k]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Тут: D_{Nij} – точкова множина поверхні розрахункових/вимірних значень оцінюваного параметра даного фактору (рис. 4); D_k – комфортне (нормоване) значення оцінюваного параметра даного фактору; i, j, m, n – порядковий номер та кількість розрахункових точок в обох напрямках; N – кількість оцінюваних факторів.

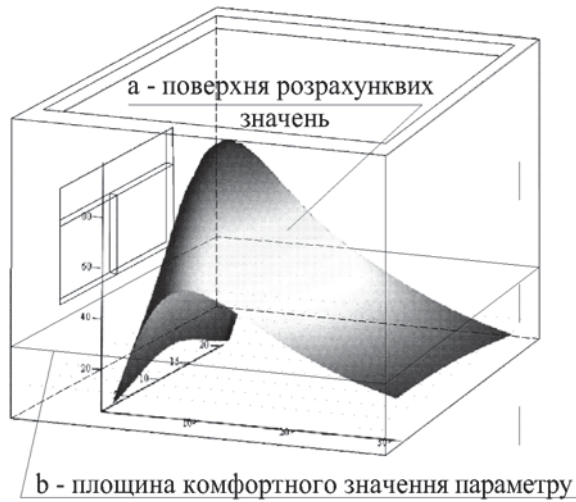


Рис.4. Приклад поверхні розрахованих значень.

Fig.4. Example of the surface of the calculated values: a - calculated surface; b - comfort plane of the parameter.

В цьому випадку в якості комфортного буде одне значення, своє для кожного параметру в межах даного приміщення у вигляді горизонтально розташованої площини з точками сканування, які мають однакову координату z (рис. 4).

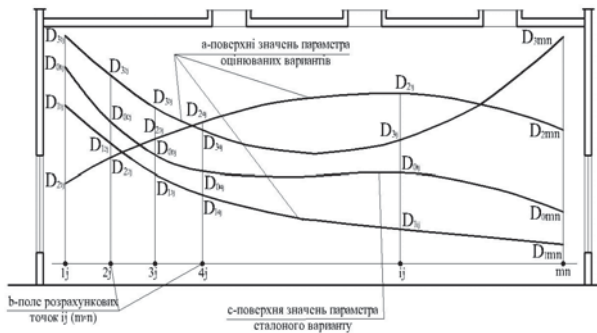


Рис.5. Поверхні точкових множин значень параметрів (в розрізі будівлі), які оцінюються (розрахованих D_{Nij}) зі значеннями еталонного варіанту D_{oij} .

Fig.5. Surfaces of point sets of values of parameters (in the section of a building) that are estimated (estimated D_{Nij}) with the values of the reference variant D_{oij} : a- surfaces of values of the parameter of calculated variants; b-calculation point field; c- the surface of the values of the parameter of the reference variant.

Другий шлях. Припустимо, що є приміщення, варіанти середовища якого треба оцінити по відношенню до другого еталонного приміщення, у якого звісно характер змін оцінюваних факторів (рис. 5).

Підраховується критерій оцінки по кожному фактору, C_{Np} , за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} C_{1p} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{1ij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}; \\ C_{2p} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{2ij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}; \\ \dots \\ C_{Np} &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m,n} [(D_{Nij} - D_{oij}) / D_{oij}]^2}}{\sqrt{m \cdot n}}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Тут: D_{oij} – точкова множина поверхні розрахованих/вимірних значень параметра даного фактору еталонного варіанту.

Сюди можна включити і критерій по енергоефективності, який буде враховувати кількість енерговитрат.

Якщо оцінка здійснюється за декількома варіантами рішень будівлі, серед яких є і еталонний, тобто найбільш досконалий за раніше проведеним дослідженням або розрахункам, то координати точок сканування (розрахованих точок) всіх варіантів повинні співпадати.

Розглянемо квадрат різниці, наприклад, $(D_{Nij} - D_{oij})^2$. В точковому численні з використанням метричного оператора [20] ця різниця буде визначатись наступним чином:

$$\begin{aligned} \sum_{D_1 D_1}^{D_0} &= \sum (D_1 - D_o)^2 = |D_1 D_o|^2; \\ \sum_{D_2 D_2}^{D_0} &= \sum (D_2 - D_o)^2 = |D_2 D_o|^2; \\ \dots \\ \sum_{D_N D_N}^{D_0} &= \sum (D_N - D_o)^2 = |D_N D_o|^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Або в координатному вигляді:

$$|DD_o|^2 = (x_D - x_{D_o})^2 + (y_D - y_{D_o})^2 + (z_D - z_{D_o})^2, \quad (10)$$

де: D_N, D_o – поточні точки сканування розрахункових і еталонних поверхонь, які описуються наступними рівняннями в симплексі $ABCFQ$ у чотирьохмірному просторі (наприклад, три координати простору і одна координата час):

$$D_{ij} = Ap(u, v, w, t) + Bq(u, v, w, t) + Cr(u, v, w, t) + Fs(u, v, w, t) + Qf(u, v, w, t). \quad (11)$$

Або в координатному вигляді (12) – (13).
Варіант, який оцінюється (12):

$$\left. \begin{aligned} x_{D1ij} &= x_{A1}p_1 + x_{B1}q_1 + x_{C1}r_1 + x_{F1}s_1 + x_{Q1}f_1; \\ y_{D1ij} &= y_{A1}p_1 + y_{B1}q_1 + y_{C1}r_1 + y_{F1}s_1 + y_{Q1}f_1; \\ z_{D1ij} &= z_{A1}p_1 + z_{B1}q_1 + z_{C1}r_1 + z_{F1}s_1 + z_{Q1}f_1; \\ x_{D2ij} &= x_{A2}p_2 + x_{B2}q_2 + x_{C2}r_2 + x_{F2}s_2 + x_{Q2}f_2; \\ y_{D2ij} &= y_{A2}p_2 + y_{B2}q_2 + y_{C2}r_2 + y_{F2}s_2 + y_{Q2}f_2; \\ z_{D2ij} &= z_{A2}p_2 + z_{B2}q_2 + z_{C2}r_2 + z_{F2}s_2 + z_{Q2}f_2; \\ &\dots \\ x_{DNij} &= x_{AN}p_N + x_{BN}q_N + x_{CN}r_N + x_{FN}s_N + x_{QN}f_N; \\ y_{DNij} &= y_{AN}p_N + y_{BN}q_N + y_{CN}r_N + y_{FN}s_N + y_{QN}f_N; \\ z_{DNij} &= z_{AN}p_N + z_{BN}q_N + z_{CN}r_N + z_{FN}s_N + z_{QN}f_N. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Еталонний варіант (13):

$$\left. \begin{aligned} x_{Doij} &= x_{Ao}p_o + x_{Bo}q_o + x_{Co}r_o + x_{Fo}s_o + x_{Qo}f_o; \\ y_{Doij} &= y_{Ao}p_o + y_{Bo}q_o + y_{Co}r_o + y_{Fo}s_o + y_{Qo}f_o; \\ z_{Doij} &= z_{Ao}p_o + z_{Bo}q_o + z_{Co}r_o + z_{Fo}s_o + z_{Qo}f_o. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

У системах (12) – (13):

$x_{A1}, x_{B1}, x_{C1}, x_{F1} \dots x_{Ao}, x_{Bo}, x_{Co} \dots$ – координати опорних вершин симплексів відповідних поверхонь, які задаються, виходячи з розрахунків або вимірювань;

$p_1, q_1, r_1, s_1, f_1, p_o, q_o, r_o, s_o, f_o$ – функції параметрів при відповідних координатах, які залежать від типу поверхонь.

Підставляючи отримані координати до рівняння (10) і результат до рівняння (8), отримуємо значення оціночного показника за кожним діючим фактором середовища.

Наприкінці визначаються середньозважені критерії оцінки, які підраховуються для всіх варіантів рішень будівель, що розглядаються при проектуванні (13):

$$\left. \begin{aligned} C1_o &= \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot C1_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p}; \\ C2_o &= \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot C2_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p}; \\ &\dots \\ CN_o &= \frac{\sum_{p=1}^{\xi} k_p \cdot CN_p}{\sum_{p=1}^{\xi} k_p}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Тут: CN_o – значення середньозваженого критерія оцінки для відповідного варіанту рішення будівлі; CN_p – значення оціночного показника за кожним параметром середовища; k_p – коефіцієнти, які ураховують ступень впливу кожного параметра (4); ξ – кількість параметрів, за котрими здійснюється оцінка.

В результаті приймається той варіант будівлі, для якого середньозважений критерій оцінки CN_o приймає мінімальне значення, оскільки середнє відхилення від комфортного (нормативного) або еталонного значення мінімальне.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином розроблено метод комплексної оцінки внутрішнього середовища в будівлях на дію екологічних різноманітних за своєю фізичною суттю факторів. Це дозволить формувати ефективне середовище при мінімальних витратах енергії і коштів,

що підвищить рівень енергоефективності будівель. Результати досліджень цієї роботи доведено до розробки алгоритму. Тому в подальших дослідженнях будуть розроблятися програми формування ефективних середовищ, в результаті використання яких буде знижено рівень енергоспоживання.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Чернова Н. М., Былова А. М.** Общая экология. М. : Дрофа, 2004. 416 с.
2. **Kollmar A.** Möglichkeiten und Grenzen höhere Vorlauftemperaturen und grösserer Ntmperaturspreiqungen. Klepzig Verlage, 1961.
3. **Daniels K.** Klimatisieren oder nur heizen. Technische Rdsch, 1971. №13.
4. **Банхиди Л.** Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека. М. : Стройиздат, 1981. 248 с.
5. **Тимофєєв М. В., Фаренюк Г. Г.** Розрахунки теплової ізоляції будівель. Донецьк, Макіївка : Норд-Прес, ДонНАБА, 2009. 74 с.
6. **Прищенко Н. Г., Чернышова Т. А., Васильченко Г. М. [и др.].** Звукоизоляция в гражданских зданиях. Краматорск : «Каштан», 2017. 88 с.
7. **Егорченков В. О., Яців М. Б., Кінаш Р. І.** Архітектурно-будівельна фізика. Природне освітлення приміщень. Львів : Ліга-Прес, 2015. 108 с.
8. **Лицкевич В. К., Макриненко Л. И., Мигалина И. В. и др.** Архитектурная физика : Стройиздат, 1997. 448 с.
9. **Кононович Ю. В.** Тепловой режим зданий массовой застройки. М. : Стройиздат, 1986. 157 с.
10. **Krochmann J.** Quality aspects of daylight and it's integration with artificial light. Paper, presented an the Conference of the AIU (International Union of Architects) and Commission Internationale de l'Eclairage. Poland : Warsaw, 1981.
11. **Иванченко В. Т.** Определение оптимальной световой обстановки в цехах приборостроительных заводов. *Функциональные и технические проблемы архитектуры: Сборник трудов.* Московский инж.-строит. ин-т., 1977. Вып. 168. С. 89-95.

12. **Кондратенков А. Н., Соловьев А. К., Хамидов К. А.** Оценка световой среды производственных помещений по характеристикам светового поля. Светотехника. 1987. №4. С. 3-5.
13. **Егорченков В. А.** Эффективность систем комбинированного естественного освещения производственных зданий и ее оценка с использованием пространственных характеристик светового поля: дис ... канд. техн. наук: 05.23.10. М., 1982. 205 с.
14. **Завьялов Е. М.** Совершенствование систем естественного освещения производственных зданий метизной промышленности (на основе пространственных характеристик светового поля) / дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10. М., 1989. 221 с.
15. **Liddell F. D.** Estimation of energy expenditure from expired air. *J. Appl. Physiology.* 1963. 18. 25-29 p.
16. **Loudon A. G.** Heating Effect of Sunshnic. *The Architect Journal.* 1966. №1. 138 p.
17. **Балюба И. Г., Конопацкий Е. В.** Замена симплекса в уравнении плоской кривой и его приложения. *Сучасні проблеми моделювання.* Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. Вип. 6. С. 12–18.
18. **Fanger P. O.** Thermal Comfort. McGrow Hill, 1970.
19. **Егорченков В. А.** Средняя яркость четырехугольного окна в условиях полуясного неба. *Прикладна геометрія та інженерна графіка.* К. : КНУБА, 2011. Вип. 87. С. 128-132.
20. **Балюба И. Г., Найдыш В. М.** Точечное исчисление: Учебное пособие. Мелітополь : Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницького, 2015. 234 с.

REFERENCES

1. **Chernova N. M., Bylova A. M. (2004).** Obshchaya ekologiya [General ecology]. Moskva : Drofa, 416 (in Russian).
2. **Kollmar A. (1961).** Möglichkeiten und Grenzen höhere Vorlauftemperaturen und grösserer Ntmperaturspreiqungen, Klepzig Verlage.
3. **Daniels K. (1971).** Klimatisieren oder nur heizen. Technische Rdsch, 13.
4. **Bankhidi L. (1981).** Teplovoy mikroklimat pomeshcheniy: Raschet komfortnykh parametrov po teplo-oshchushcheniyam cheloveka [Thermal microclimate of premises: calculation of comfort parameters for human thermal sensations]. Moskva : Stroyizdat, 248 (in Russian).

5. **Timofeev M. V., Farenjuk G. G. (2009).** Rozrakhunky teplovoi izoliatsii budivel : Navchalnij posibnik [Calculations of thermal insulation of buildings : Textbook]. Doneck, Makiivka : Nord-Pres, DonNABA, 74 (in Ukrainian).
6. **Prishchenko N. G., CHernyshova T. A., Vasil'chenko G. M. [i dr.]. (2017).** Zvukozolyaciya v grazhdanskih zdaniyah [Sound insulation in civil buildings]. Kramatorsk : «Kashtan», 88 (in Russian).
7. **Egorchenkov V. O., Yaciv M. B., Kinash R. I. (2015).** Arhitekturno-budivel'na fizika. Prirodne osvittleniya primishchen': Pidruchnik dlya arhitekturnih i budivel'nih special'nostej [Architectural and building physics. Natural lighting of premises]. L'viv : Liga-Pres, 108 (in Ukrainian).
8. **Lickevich V. K., Makrinenko L. I., Migalina I. V. i dr (1997).** Arhitekturnaya fizikka [Architectural Physics]. Pod red. N.V. Obolenskogo. Moskva : Strojizdat, 448 (in Russian).
9. **Kononovich Yu. V. (1986).** Teplovoj rezhim zdaniy massovoj zastroyki [Thermal regime of buildings of mass building]. Moskva : Strojizdat, 157 (in Russian).
10. **Krochmann J. (1981).** Quality aspects of daylight and it's integration with artificial light. Paper, presented at the Conference of the AIU (International Union of Architects) and Commission Internationale de l'Eclairage. Warsaw, Poland.
11. **Ivanchenko V. T. (1977).** Opredeleniye optimal'noy svetovoy obstanovki v tsekhakh priborostroitel'nykh zavodov [Determination of the optimal color environment in the shops of instrument-making plants]. Funktsional'nyye i tekhnicheskiye problemy arkhitektury: Sbornik trudov, 168, 89-95 (in Russian).
12. **Kondratenkov A. N., Solov'ev A. K., Hamidov K. A. (1987).** Ocenka svetovoy sredy proizvodstvennykh pomeshchenij po harakteristikam svetovogo polya [Estimation of the light environment of industrial premises according to the characteristics of the light field]. Svetotekhnika, 4, 3-5 (in Russian).
13. **Yehorchenkov V. A. (1982).** Effektivnost system kombinyrovannoho estestvennoho osveshcheniya proyzvodstvennykh zdanyi i ee otsenka s yspolzovanyem prostranstvennykh kharakterystyk svetovoho polia [Efficiency of systems of combined natural lighting of industrial buildings and its evaluation using the spatial characteristics of the light field]: dys ... kand. tekhn. nauk: 05.23.10. Moskva, 205 (in Russian).
14. **Zavialov E. M. (1989).** Sovershenstvovanye system estestvennoho osveshcheniya proyzvodstvennykh zdanyi metyznoi promyshlennosti (na osnove prostranstvennykh kharakterystyk svetovoho polia) [Perfection of systems of natural illumination of industrial buildings of the metalware industry (on the basis of spatial characteristics of a light field)] dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.10. Moskva, 221 (in Russian)
15. **Liddell F. D. (1963).** Estimation of energy expenditure from expired air. J. Appl. Physiology, 18, 25-29.
16. **Loudon A. G. (1966).** Heating Effect of Sun-schnic. *The Architect Journal*, 1, 138.
17. **Balyuba I. G., Konopatskiy Ye. V. (2016).** Zamena simpleksa v uravnenii ploskoy krivoy i yego prilozheniya [The replacement of a simplex in the equation of a plane curve and its applications]. *Suchasni problemy modelyuvannya*. Melitopol : Vydavnytstvo MDPU im. B. Khmelnytskoho, 6, 12-18 (in Ukrainian).
18. **Fanger P. O. (1970).** Thermal Comfort. McGraw Hill.
19. **Yegorchenkov V. A. (2011).** Srednyaya yarkost chetyrehkugolnogo okna v usloviyakh poluyasnogo neba [The average brightness of a quadrangular window in a half-dark sky]. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika* : zb. nauk. prats. K. : KNUBA, 87, 128-132 (in Ukrainian).
20. **Balyuba I. G., Naydysh V. M. (2015)** Tochechnoye ischisleniye [Point Calculus]: Uchebnoye posobiye. Melitopol : Izd-vo MGPU im. B. Khmel'nitskogo, 234 (in Russian).

Multiparameter estimation of buildings environment using point calculation is a direct way to their energy efficiency

Volodymyr Yehorchenkov

Summary. According to the law of optimum in ecology, each factor has a certain range (the optimum zone) in which a person feels fine. If the factor values come out of this range, the body is depressed. When constructing the environment in buildings, it is important that the values of the factors approach the optimum zone to the maximum extent. Therefore, the goal of this paper is to develop a comprehensive assessment of the vari-

ous factors acting on humans. Labor productivity was adopted in this paper as an assessment criterion. The curves of changes in labor productivity from one or another factor were described by point equations. For practical implementation, three factors were taken: the temperature and humidity of the air in the room, as well as the angular height of the light vector. The curves of changes in labor productivity from these factors were combined into one graph. The values of factors in fractions of units from comfort values were plotted along the abscissa axis. This made it possible to determine coefficient of the influence of factors relative to each other. For a complex estimation, a point set of surfaces of calculated or measured values was formed. Using the coefficient of

variation formula, the average deviation from the comfortable value for each factor was determined. In the end, the averagely weighted deviation was determined for all the factors being evaluated, taking into account the coefficients of an influence. The best solution to the environment in the building is that in which the weighted average criterion assumes a minimum value. These research results will allow to create an effective environment in buildings with minimum energy and money costs, which will increase the level of energy efficiency of buildings. The results of studies of this work are brought to the development of the algorithm.

Keywords. Law of optimum, comprehensive assessment, labor productivity, point calculation, coefficient of influence, comfortable value.