

УДК 628.9:614.8+004.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.142.1034

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДХОДУ ДО РОЗРАХУНКУ ТА ОЦІНКИ СТАНУ ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

СОКОЛАН Ю. С.^{1,2*}, канд. техн. наук, доц.,
БАГРІЙ О. В.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра технології машинобудування, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

^{2*} Кафедра будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

³ Кафедра архітектури та містобудування, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: avadaro@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-2267-7162

Анотація. Постановка проблеми. У XXI сторіччі спостерігається загальносвітова тенденція до розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, яке б вирішувало низку конкретних питань в межах окремих предметних галузей. Актуальності набуває задача розширення функціональних можливостей розробленого програмного забезпечення для розрахунку бокового освітлення функціоналом, який би дозволив проводити розрахунок верхнього природного освітлення. **Мета статті** – вдосконалення автоматизованого підходу до розрахунку регламентованої площі світлових прорізів у будівлях та спорудах, а також оцінення наявного природного освітлення шляхом наповнення розробленого програмного забезпечення оцінення бокового природного освітлення функціоналом для оцінення верхнього природного освітлення. **Висновки.** Розроблений програмний продукт для розрахунку бокового одностороннього природного освітлення доповнено функціоналом, призначеним для розрахунку двостороннього бокового освітлення та верхнього природного освітлення. В ньому реалізовано захист від уведення помилкових даних, а також частково реалізовано автоматизований документообіг, який полягає у можливості ведення журналу із розрахунками. Використання такого спеціалізованого програмного забезпечення – один із методів автоматизації розрахунків під час ескізного проектування природного освітлення приміщень, а також для оцінення наявного природного освітлення та його відповідності вимогам, які регламентовані ДБН В.2.5:28-2018 Природне і штучне освітлення. Запропонований підхід до розрахунку природного освітлення дозволить мінімізувати можливість виникнення помилок, збільшить точність проведених розрахунків, пришвидшить процес обрахунку площі світлових прорізів, а також дозволяє проводити розрахунок площі світлових прорізів без знання методики. Практичне застосування такий метод має в будівельній галузі для проектування систем освітлення, а також у сфері охорони праці для оцінення відповідності наявного освітлення регламентованим вимогам.

Ключові слова: виробниче освітлення приміщень; верхнє природне освітлення; бокове природне освітлення; програмне забезпечення; автоматизація розрахунків

IMPROVING THE AUTOMATED APPROACH TO CALCULATING AND ASSESSING THE STATE OF NATURAL ILLUMINATION

SOKOLAN Yu.S.^{1,2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
BAHRII O.V.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Mechanical Engineering Technology, Khmelnytskyi National University, 11, Intyutaska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

^{2*} Department of Construction and Occupational Safety, Khmelnytskyi National University, 11, Intyutaska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

³ Department of Architecture and Urban Development, Khmelnytskyi National University, 11, Intyutaska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: avadaro@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-2267-7162

Abstract. Problem statement. In the XXI century, there is a global trend towards the development of specialised software that would solve a number of specific problems within certain subject areas. The task of extending the functionality of the developed software for calculating side illumination with functionality that would allow the calculation of overhead natural illumination is becoming increasingly important. **The purpose of the article** is to improve the automated approach to calculating the regulated area of light openings in buildings and structures, as well as assessing the available natural illumination by filling the developed software for assessing side natural illumination

with functionality for assessing overhead natural illumination. **Conclusions.** The developed software product for the calculation of one-sided side natural illumination was supplemented with functionality designed to calculate two-sided side lighting and overhead natural illumination. It provides protection against entering erroneous data, and partially implements automated document flow, which includes the ability to keep a log of calculations. The use of such specialized software is one of the methods of automating calculations in the preliminary design of natural illumination of premises, as well as in assessing the existing natural illumination and its compliance with the requirements regulated by DBN B.2.5:28-2018 Natural and artificial illumination. The proposed method for calculating natural illumination will minimize the possibility of errors, increase the accuracy of the calculations, speed up the process of calculating the area of illumination openings, and allow the calculation of the area of illumination openings without knowledge of the methodology. This method is of practical use in the construction industry when designing illumination systems, as well as in the field of occupational health and safety to assess the compliance of existing illumination with the regulated requirements.

Keywords: *industrial illumination of premises; overhead natural illumination; side natural illumination; software; automation of calculations*

Постановка проблеми. Природне світло відіграє роль інструменту, який використовується для формування інтер'єру в межах будівель та споруд. Завдяки природному освітленню поліпшується сприйняття навколишнього простору, атмосфери та архітектури.

Належний стан природного освітлення відіграє важливу роль з точки зору сфери охорони праці для попередження виробничого травматизму у приміщеннях. Недостатнє освітлення може спричинити збільшення кількості нещасних випадків. Крім того, до властивостей сонячного випромінювання належить також знезараження та зігрівання повітря. До того ж, природне освітлення позитивно впливає на психіку.

У світловому дизайні окремим напрямком відмічають архітектурний дизайн освітлення. Для кожного з архітектурних стилів застосовується низка прийомів, які підкреслюють його виразні сторони. Бажаного ефекту можна досягнути шляхом послаблення чи підсилення світлового впливу.

Розроблення концепції освітлення будівель та споруд орієнтоване на сприйняття людьми дизайну без втрат в ефективному візуальному комфорті. В будь-якому випадку, запроєктоване природне освітлення у приміщенні повинне відповідати чинним нормам, які регламентуються ДБН В.2.5:28-2018 Природне та штучне освітлення [1].

У ХХІ сторіччі спостерігається загальносвітова тенденція до розроблення

спеціалізованого програмного забезпечення, яке б вирішувало низку конкретних питань у межах окремих предметних галузей.

Актуальності набуває задача розширення функціональних можливостей розробленого програмного забезпечення для розрахунку бокового освітлення функціоналом, який би дозволив проводити розрахунок верхнього природного освітлення.

Аналіз публікацій. У 2019 році набув чинності ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* [1], який прийшов на зміну ДБН В.2.5-28-2006 *Природне і штучне освітлення* [4]. Цей документ регламентує методику розрахунку стану природного освітлення для проектування будівель та споруд, нових або тих, що підлягають реконструкції

Основні зміни у методиці розрахунку бокового та верхнього природного освітлення за державними будівельними нормами проаналізовані та виокремлені у статті [5].

Аналізуючи наявне програмне забезпечення для оцінення природного освітлення приміщень [6–8], зарубіжні науковці виокремили актуальність таких підходів для симуляції освітлення в приміщеннях та під час архітектурного проектування будівель.

У праці [2] розглядалось питання недостатнього рівня забезпеченості спеціалізованим програмним забезпеченням у сфері охорони праці, а у статті [3] – створене спеціалізоване програмне забезпечення для розрахунку бокового

природного освітлення у відповідності з ДБН.

З аналізу випливає, що в Україні відсутній метод автоматизованої оцінки стану природного освітлення приміщень за допомогою відповідного програмного забезпечення, що підкреслює актуальність роботи.

Мета статті – вдосконалення автоматизованого підходу до розрахунку регламентованої площі світлових прорізів у будівлях та спорудах, а також оцінки наявного природного освітлення шляхом наповнення розробленого програмного забезпечення оцінки бокового природного освітлення функціоналом для оцінки верхнього природного освітлення.

Результати досліджень. Відповідно до ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* [1] для проектування системи природного освітлення на стадії ескізного проектування площа світлових прорізів розраховується за формулою:

$$S_{\text{л}} = \frac{D_{\text{н}}}{100m} \cdot \frac{K_3 \eta_{\text{л}}}{\tau_0 r_2 K_{\text{л}}} \cdot S_{\text{п}}, \quad (1)$$

де $D_{\text{н}}$ – нормований коефіцієнт природного освітлення, %; K_3 – коефіцієнт запасу; $\eta_{\text{л}}$ – коефіцієнт, який враховує світлову активність вікон; $S_{\text{п}}$ – площа приміщення, м²; $K_{\text{л}}$ – коефіцієнт, який враховує тип ліхтаря; m – коефіцієнт світлового клімату світлопрорізу; τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання матеріалу; r_2 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО за рахунок світла, відбитого від внутрішніх поверхонь приміщення [1]. У свою чергу, загальний коефіцієнт світлопропускання, який позначається τ_0 , обчислюється за формулою:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (2)$$

де τ_5 – коефіцієнт, в якому враховуються втрати світла у захисній сітці; τ_4 – коефіцієнт, в якому враховуються втрати світла за наявності сонцезахисних пристроїв; τ_3 – коефіцієнт, у якому враховуються втрати світла в наявних несних конструкціях; τ_2 – коефіцієнт, в якому враховуються втрати світла в рамках

світлових прорізів; τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу.

Основна відмінність у розрахунку верхнього освітлення від розрахунку бокового освітлення приміщення полягає у відмінних коефіцієнтах r_2 , $K_{\text{л}}$, $\eta_{\text{л}}$ і τ_3 , який є одним із множників загального коефіцієнта світлопропускання. Тому у розроблене програмне забезпечення для розрахунку бокового природного освітлення, який описаний у [3], був доданий функціонал для визначення наведених коефіцієнтів.

Вибір системи освітлення, для якої буде проводитись автоматизований розрахунок необхідної площі світлових прорізів, здійснюється в лівій нижній частині головного вікна програми (рис. 1).

Інтерфейс головного вікна програми для розрахунку природного освітлення змінено таким чином, щоб була можливість вносити дані, необхідні для визначення коефіцієнтів, наведених у формулі 1. Тобто було додано такі поля для вводу відповідних даних:

- ширина прогону;
- кількість прогонів;
- вибір типу ліхтаря із випадаючого списку.

Нормований коефіцієнт природного освітлення для верхнього освітлення вибирається із бази програми таким же чином, як і для природного освітлення [3]. За це відповідає кнопка «Розрахувати $D_{\text{н}}$ », після чого запускається відповідний модуль і необхідно обрати коефіцієнт, залежно від призначення будівлі та приміщення, для якого проводиться розрахунок освітлення. Тобто на цьому етапі реалізовано таблиці 5.1 та 5.2 і додатки Д, Ж із ДБН В.2.5:28-2018 [1].

Вибір нижчеперерахованих коефіцієнтів також проводиться аналогічно до вибору цих коефіцієнтів у випадку бокового природного освітлення у відповідних модулях, які описані у [3]. Цими коефіцієнтами є:

- коефіцієнт світлового клімату світлопрорізу (m);
- коефіцієнт запасу (K_3);
- коефіцієнти $\tau_1, \tau_2, \tau_4, \tau_5$.

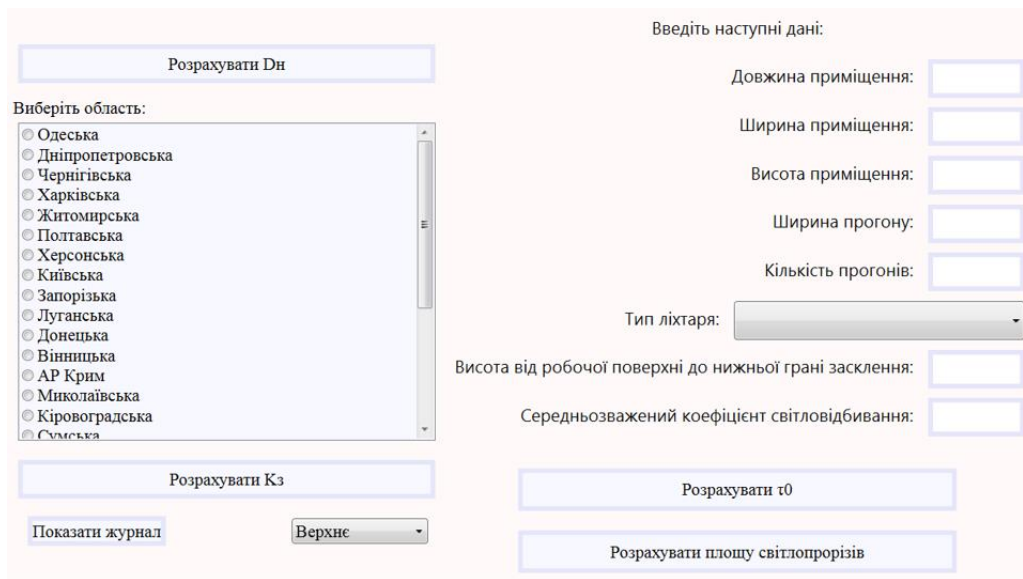


Рис. 1. Інтерфейс модифікованого головного вікна програми розрахунку природного освітлення

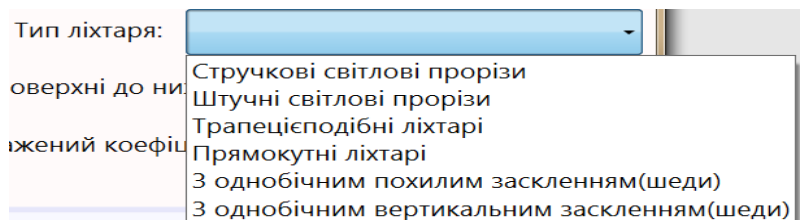


Рис. 2. Вибір типу ліхтаря

Для визначення коефіцієнта, який враховує тип ліхтаря (K_L) необхідно на головному вікні програми обрати із відповідного випадаючого списку тип ліхтаря (рис. 2). За замовченням у програму введені типи ліхтарів, які регламентовані ДБН В.2.5:28-2018 [1].

Після того як обрано тип ліхтаря у наведеному списку, програма автоматично

зчитує основні дані з відповідних полів, які необхідні для проведення розрахунків. До цих даних належать висота приміщення, довжина приміщення, ширина прогону та кількість зазначених прогонів. На цьому етапі реалізовано автоматичний розрахунок параметрів ліхтаря відповідно до таблиці М.3 у [1].

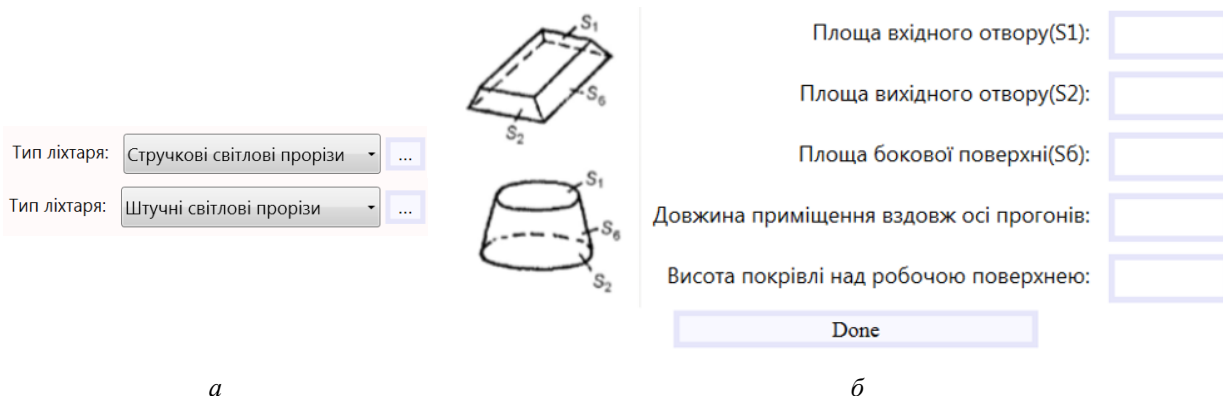


Рис. 3. Ввід параметрів ліхтарів

У випадку, якщо проводиться розрахунок верхнього природного освітлення для штучних або стручкових

світлових прорізів, у програмі автоматично змінюється інтерфейс випадаючого списку (рис. 3, а). З правого боку від списку після

вибору зазначених типів ліхтарів з'являється кнопка із написом «...». Натисканням на цю кнопку відкривається допоміжне вікно (рис. 3, б), в якому необхідно ввести параметри ліхтарів. Тобто на цьому етапі реалізовано вибір коефіцієнта, який враховує світлову активність вікон відповідно до таблиці М.4 у [1].

Для вибору коефіцієнта світлової активності, який позначений η_l у формулі 1, програма зчитує дані, введені у відповідні поля (рис. 1), а саме:

- тип ліхтарів;
- кількість прогонів;
- ширину прогону;
- висоту приміщення;
- довжину приміщення.

Всі перераховані дані, необхідні для визначення зазначеного коефіцієнта, автоматично обраховуються в програмі без участі користувача. Наприклад, за ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* [1], цей коефіцієнт визначається із таблиці М.3 на основі кількості прогонів, типу ліхтарів, відношення довжини прогону

до його ширини та відношення висоти приміщення до ширини прогону. Обрахунки зазначених відношень проводяться автоматично без участі користувача.

Визначення коефіцієнта, який враховує підвищення КПО (D_n) за рахунок світла, який відбивається від внутрішніх поверхонь приміщення (позначається r_2), також виконується у програмі автоматично на основі даних, які зазначені у таблиці М.8 у [1]. Ці дані зчитуються із введених у програму значень у відповідні поля (кількість прогонів, середнє значення коефіцієнта світловідбивання), а відношення висоти приміщення від робочої поверхні до грані засклення до ширини прогону розраховується автоматично.

У випадку розрахунку загального коефіцієнта світлопропускання, вибір складових формули 2 відбувається таким же чином, як це описано у праці [3]. Єдина відмінність стосується коефіцієнта τ_3 . За регламентованою методикою [1] цей коефіцієнт залежить від несних конструкцій покриття.

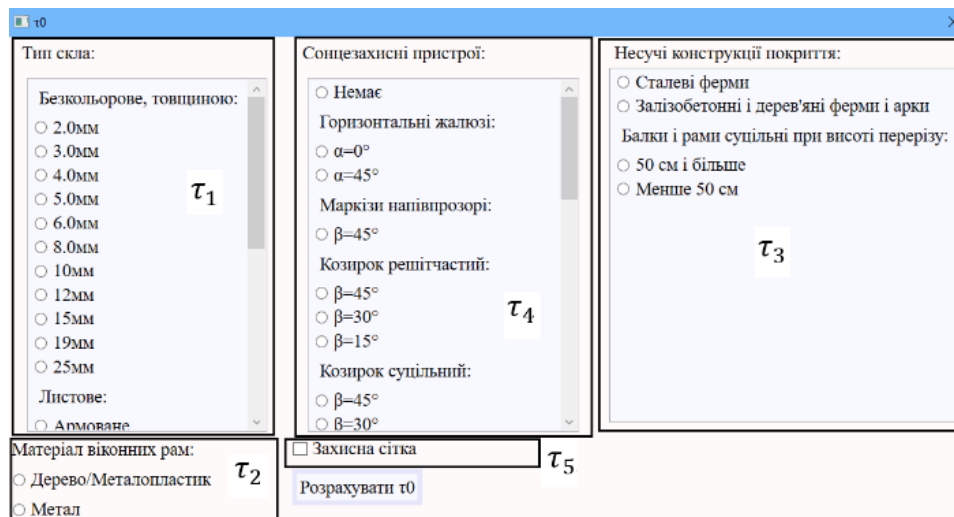


Рис. 4. Вікно вибору складових загального коефіцієнта світлопропускання

Для введення значень відповідних коефіцієнтів, які є складовими формули 2, необхідно натиснути кнопку «Розрахувати τ_0 ». Після цього відкривається діалогове вікно (рис. 4), поділене відповідно до коефіцієнтів, що впливають на загальний коефіцієнт світлопропускання. На цьому етапі у програмі реалізовані таблиці

М.9–М.11 у [1]. Після вибору всіх проміжних значень, які необхідні для розрахунку площі світлових прорізів за формулою 1, для отримання результату необхідно натиснути кнопку «Розрахувати площу світлових прорізів». Програма автоматично проведе обрахунок та вибір проміжних коефіцієнтів і виведе результат

розрахунку у вигляді, показаному на рисунку 5.

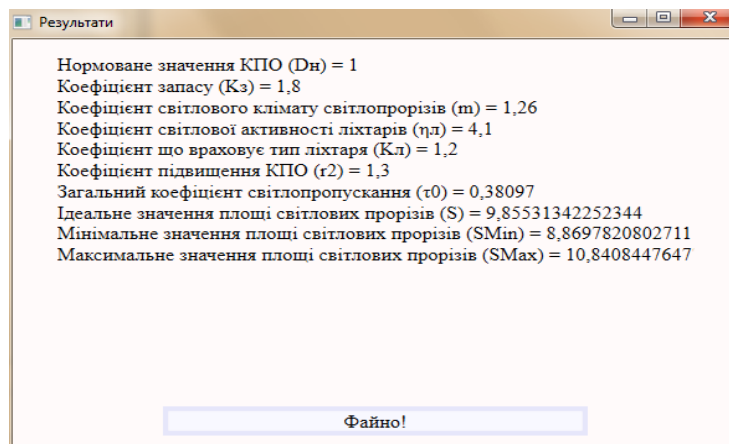


Рис. 5. Отримання результату проведених розрахунків

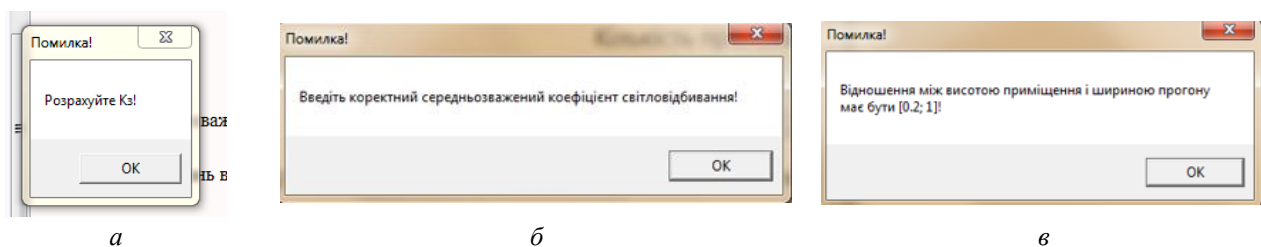


Рис. 6. Приклади захисту від уведення помилкових даних:

а – повідомлення про пропущений коефіцієнт; б, в – повідомлення про введення некоректних даних

У випадку, якщо користувач випадково допустив помилку при введенні даних, або введені значення виходять за межі існуючих, програма сповістить про це відповідним повідомленням, приклад якого наведено на рисунку 6.

Прикладом таких некоректних розрахункових значень може бути азимут, який перевищує значення у 360° . Тобто у програмі реалізовано захист від помилок та перевірку розрахункових значень.

Крім того, розроблений програмний продукт для розрахунку одностороннього бокового природного освітлення, описаний у [3], був модернізований не тільки наповненням функціонала для розрахунку верхнього природного освітлення, а й функціоналом для розрахунку двостороннього природного освітлення за [1].

Для використання програми з метою розрахунку двостороннього природного освітлення необхідно у випадаючому списку обрати відповідний пункт «Двостороннє». Інтерфейс вікна програми зміниться відповідним чином (рис. 7), а у правій

частині автоматично будуть додані поля для введення відповідних даних, які необхідні за регламентованою методикою розрахунку [1] (наприклад, азимут Beta для введення другого значення азимуту).

Після проведення розрахунків та натискання кнопки «Файно» (рис. 6) усі проміжні дані видаляються із буферної пам'яті програми. Досить часто трапляються випадки, коли необхідно провести розрахунок природного освітлення приміщення декілька разів шляхом зміни одного або декількох проміжних коефіцієнтів.

Для спрощення проведення таких розрахунків та поліпшення відображення отриманих даних у програмі реалізовано збереження введених даних у відповідних полях.

З метою спрощення порівняння даних із декількох розрахунків та відображення результатів у програмі реалізовано можливість запису проміжних результатів у журнал. Відкриття журналу відбувається відповідною кнопкою у лівому нижньому кутку програми (рис. 7). У цьому журналі

будуть відображатись не тільки результати попередньо проведених розрахунків (рис. 8), а й вхідні розрахункові дані.

Рис. 7. Інтерфейс функціонала для обрахунку двостороннього природного освітлення

Рис. 8. Збереження розрахункових даних у вбудованому журналі

Зазначений журнал можна очистити шляхом натискання відповідної кнопки, а також зберегти у файлі. Збереження результатів відбувається шляхом автоматичного створення файла із назвою log у папці, в якій розташована програма. Тобто в розробленому програмному продукті також частково реалізований автоматизований документообіг.

Висновки

Розроблений програмний продукт для розрахунку бокового одностороннього природного освітлення доповнено функціоналом, призначеним для розрахунку двостороннього бокового та верхнього природного освітлення. В ньому реалізовано захист від уведення помилкових даних, а також частково реалізований автоматизований документообіг, який

полягає у можливості ведення журналу із розрахунками.

Використання такого спеціалізованого програмного забезпечення стало одним із методів автоматизації розрахунків під час ескізного проектування природного освітлення приміщень, а також для проведення оцінки наявного природного освітлення та його відповідності вимогам, які регламентовані *ДБН В.2.5:28-2018. Природне і штучне освітлення*.

Запропонований підхід до розрахунку природного освітлення дозволить мінімізувати можливість виникнення помилок, збільшить точність проведених розрахунків, пришвидшить процес обрахунку площі світлових прорізів, а також дозволяє проводити розрахунок площі світлових прорізів без знання методики.

Практичне застосування такий метод сфері охорони праці для оцінення має в будівельній галузі під час відповідності наявного освітлення проектування систем освітлення, а також у регламентованим вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5:28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинні від 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінергіон України, 2018. 137 с.
2. Соколан Ю. С. Проблематика забезпеченості спеціалізованим програмним забезпеченням в сфері охорони праці. *Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : Всеукр. наук.-практ. конф.* Львів, 2021. С. 16–17.
3. Соколан Ю. С., Шевеля В. В., Педгонь І. Автоматизований підхід до оцінки стану бокового освітлення приміщень. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 5 (011). С. 100–109.
4. ДБН В.2.5:28-2006. Природне і штучне освітлення. [Чинні до 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінергіон України, 2006. 142 с. (Державні будівельні норми).
5. Соколан Ю. С., Паршенко К. А. Аналіз змін у нормуванні природного освітлення приміщень у відповідності із державними будівельними нормами. *Вісник Хмельницького Національного Університету*. 2020. № 6 (291). С. 67–72.
6. Paule B., Boutillier J., Pantet S., Sutter Y. A lighting simulation tool for the new European daylighting standard. ResearchGate : веб-сайт. URL: https://www.researchgate.net/publication/329091178_A_lighting_simulation_tool_for_the_new_European_daylighting_standard (дата звернення: 11.01.2024).
7. Christakou E., Silva N. A comparison of software for architectural simulation of natural light. ResearchGate : веб-сайт. URL: https://www.researchgate.net/publication/221231753_A_Comparison_of_Software_for_Architectural_Simulation_of_Natural_Light (дата звернення: 11.01.2024).
8. Davoodi A., Johansson P., Laike T., Aries M. Current Use of Lighting Simulation Tools in Sweden. ResearchGate : веб-сайт. URL: https://www.researchgate.net/publication/338804137_Current_Use_of_Lighting_Simulation_Tools_in_Sweden (дата звернення: 11.01.2024).

REFERENCES

1. *DBN B.2.5:28-2018. Pryrodne ta shtuchne osvittlennya* [SCN B.2.5:28-2018. Natural and artificial illumination]. Valid from 2019-03-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2019. 137 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
2. Sokolan Yu.S. *Problematyka zabezpechenosti spetsializovanim programnym zabezpechenniam v sferi ohorony pratsi* [Problems of provision of specialized software in the field of labor protection]. *Problemy ta perspektyvy rovytku ohorony pratsi : Vseukrainyska naukovo-praktychna konferentsiya* [Problems and Prospects of Development of Labor Protection : All-Ukrainian Scientific and Practical Conference]. Lviv, 2021. Pp. 16–17. (in Ukrainian).
3. Sokolan Y.S., Shevelia V.V. and Pedgon I. *Avtomatyzovaniy pidhid do otcinky stanu bokovogo osvittlennya prymishchen*. [Automated approach to assessing the state of side lighting of premises]. *Ukrainskiy zhurnal budivnytstva ta arhitektury*. [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 5 (011), pp. 100–109. (in Ukrainian).
4. *DBN B.2.5:28-2006. Pryrodne ta shtuchne osvittlennya* [SCN B.2.5:28-2006. Natural and artificial illumination]. Valid till 2019-03-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2006, 142 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).
5. Sokolan Yu.S. and Parshenko K.A. *Analiz zmin u normuvanni prurodnogo osvittlennya prymishchen u vidpovidnosti iz Derzhavnymy budivelnymy normamy* [Analysis of changes in regulation of natural illumination in accordance with State Construction Regulations]. *Visnyk Khmel'nyts'koho Natsional'noho Universytetu* [Herald of Khmelnytskyi National University]. 2020, no. 6, pp. 67–72. (in Ukrainian).
6. Paule B., Boutillier J., Pantet S. and Sutter Y. A lighting simulation tool for the new European daylighting standard. ResearchGate : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/329091178_A_lighting_simulation_tool_for_the_new_European_daylighting_standard (accessed: 11.01.2024).
7. Christakou E. and Silva N. A comparison of software for architectural simulation of natural light. ResearchGate : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/221231753_A_Comparison_of_Software_for_Architectural_Simulation_of_Natural_Light (accessed: 11.01.2024).
8. Davoodi A., Johansson P., Laike T. and Aries M. Current Use of Lighting Simulation Tools in Sweden. ResearchGate : web-site. URL: https://www.researchgate.net/publication/338804137_Current_Use_of_Lighting_Simulation_Tools_in_Sweden (accessed: 11.01.2024).

Надійшла до редакції: 15.02.2024.