

УДК 628.9

студент., **Олександр Демидов**,
22249-eeb.demydov@365.pdaba.edu.ua, ORCID: 0009-0008-4061-0010,
аспірант., **Леонід Косенко**,
kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8841-8318,
к.т.н., доц., с.н.с. **Олена Коваль**,
koval.olena@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7805-6811,
к.т.н., доц., **Євгеній Юрченко**,
yel@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9356-3261,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

***Анотація.** У роботі детально розглянуто оцінювання та оптимізацію освітлення в офісах задля поліпшення енергоефективності та робочого середовища через впровадження передових освітлювальних технологій. Всебічне технічне обстеження наявних умов освітлення та розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій враховує нормативні вимоги й сучасні практики у сфері світлотехніки. Виконується аналіз ефективності освітлення, обґрунтування доцільних джерел світла, розрахунок їхнього розміщення для максимальної ефективності та оцінювання впливу на економію енергії з метою досягнення кращих умов праці та зниження енергоспоживання. Дослідження передбачає такі кроки: освітленість як критичний фактор, що впливає на продуктивність та комфорт працівників; технічне обстеження системи освітлення в офісному приміщенні; методологію проведення технічного обстеження (вимірювання освітленості на різних ділянках приміщення за допомогою люксметра); розрахунок потреби у світловому потоці відповідно до норм та стандартів для офісних приміщень; вибір типу та потужності світлодіодних ламп для нової системи освітлення; розрахунок кількості та розміщення світлодіодних ламп для забезпечення необхідного рівня освітленості в автоматизованій системі DIALux Evo Pro; оцінювання очікуваних результатів у контексті енергоефективності та покращення умов праці; розрахунок витрат енергії на нову систему освітлення; потенційний вплив результатів дослідження на енергоменеджмент і енергоаудит у сфері будівництва. висновки дослідження пропонують стратегії для реалізації інноваційної освітлювальної системи, яка веде до оптимізації споживання енергії та значного поліпшення якості освітлення. Ці стратегії очікується, що не лише покращать робоче середовище, але й призведуть до суттєвої економії енергетичних ресурсів у офісах, тим самим сприяючи екологічній стійкості та фінансовій ефективності.*

Ключові слова: інсоляція, освітленість, енергоефективність, охорона праці, модернізація, дослідження

Вступ. У сучасному світі освітлення офісних приміщень стає важливим аспектом діяльності будь-якого підприємства. Якісне освітлення та інсоляція є одним з найважливіших факторів для комфорту та продуктивності працівників. Але, разом із зростанням усвідомлення необхідності створення сприятливих умов для працівників, з'являються нові вимоги до енергоефективності освітлення в офісних приміщеннях. Виявлення проблем освітлення та пошук якісних рішень стає важливою задачею [1, 2].

Огляд літературних джерел. В Україні світловий комфорт визначається нормами, зокрема [1, 2]. Спектр освітлення відіграє важливу роль для зорового комфорту [3]. Найбільш близькими до ідеально неперервного спектру розжареного абсолютно чорного тіла є лампи розжарювання та галогенні [3]. Однак, навіть вони не досягають ідеальності через випромінювання окремих хімічних елементів. Сонце є ще менш ідеальним джерелом, спектр якого додатково спотворюється в атмосфері. Джерела світла характеризуються індексом кольоропередачі (Colour Rendering Index) $0 < R_a < 100$. Чим вищий показник, тим ближче кольоропередача до ідеальної. Однак, цей показник не до кінця визначає комфорт сприйняття кольорів. Адже він не показує розподіл відхилення насиченості за довжиною хвилі.

Освітленість [4] є одним з головних факторів, що визначає зоровий комфорт і продуктивність праці, зокрема офісної. Якщо недостатнє освітлення призводить до неможливості виконання роботи, то занадто інтенсивне освітлення спричиняє головні болі, втому, стрес, тривожність тощо. У цій же роботі показано можливість використання сучасного смартфона для вимірювання освітленості за умови калібрування його датчика.

Відблиски є ще одним фактором, що негативно впливає на зоровий комфорт. Відблиски визначаються, серед іншого, властивостями світильників, їхнім розміщенням, розмірами та формою, відбиттям поверхонь і положенням спостерігача. Уніфікований індекс відблисків UGR (Unified Glare Rating) показує рівень відблисків і типово потрапляє в межі 16...28. Збільшення показника означає зростання дискомфорту. Значення 19 і менше показує високий рівень комфорту для офісів, а 22 і менше – для виробництва. Світлодіоди як джерела світла [6] на сьогодні витісняють усі інші джерела через високу ефективність (до 170 лм/Вт), відсутність важких металів, практичну відсутність ультрафіолетового випромінювання, практично необмежені можливості комбонування світлодіодів у світильники, досяжність дуже високої кольоропередачі (R_a 98 [3]), мінімальні вимоги до утилізації тощо. Тобто саме це джерело світла має найбільші перспективи щодо комфортного, енергоефективного та екобезпечного освітлення.

Природне (сонячне) освітлення відіграє не менш важливу роль у

формуванні психологічного стану людини як найбільш наближене до природних умов. Але згідно з [1,2] озеленення не можна враховувати при розрахунках, а освітленість є нерівномірним і сильно залежить від геометрії як вікон, так і приміщення. Лишається питання, чи завжди великі площі вікон призводять до покращення освітленості. З урахуванням багатофакторності задачі це вимагає окремого підтвердження або спростування.

Мета дослідження. Метою дослідження є поглиблення методологічних засад при оцінюванні інсоляції та освітленості приміщень та розробки оновлення системи освітлення з залученням програмних рішень.

Об'єкт дослідження. Двоповерхова офісна будівля місто Дніпро (рис. 1). Вона має другий частково мансардний поверх з великим віражним склінням площа цього приміщення (зони open space) 136.56 м². Приміщення має 18 автоматизованих робочих місць. Освітлення – 20 світлодіодних лампи Brille 24W/864 E27 CW G95 (PL-SP) 220V на висоті 2.8 м.

Завдання дослідження. Згідно з поставленою метою були сформовані основні задачі дослідження, а саме:

1. Технічне обстеження системи освітлення в офісному приміщенні.
2. Виміри освітленості на різних ділянках приміщення за допомогою люксметра.
3. Розрахунок потреби у світловому потоці відповідно до норм та стандартів для офісних приміщень.
4. Вибір типу та потужності світлодіодних ламп для нової системи освітлення.
5. Розрахунок кількості та розміщення світлодіодних ламп для забезпечення необхідного рівня освітленості в автоматизованій системі DIALux Evo Pro.
6. Розрахунок витрат енергії на нову систему освітлення [1;2].

Обстеження та вимірювання. Обстеження системи освітлення виявило проблему точкового освітлення лампами над окремими робочими місцями, що додатково знижує освітленість приміщення.

Попередньо було проведено вимірювання освітленості в цьому приміщенні (рис. 2). Вимірювання проводилися в сонячну погоду об 11 годині ранку у другий тиждень жовтня.

Для вимірювання освітленості зон приміщення було використано (рис. 3):

- **Testo 440** – люксметр з виносним зондом для вимірювання освітленості всіх типів ламп, професійний багатофункціональний прилад з заводським калібруванням
- **FLUS MT-912** – портативний люксметр для вимірювання освітленості на побутових і виробничих об'єктах з розширеним діапазоном до 200000 Лк
- **Смартфон Xiaomi Redmi Note 8 Pro** з застосунком Lux відкалібрований за допомогою **Testo 440**

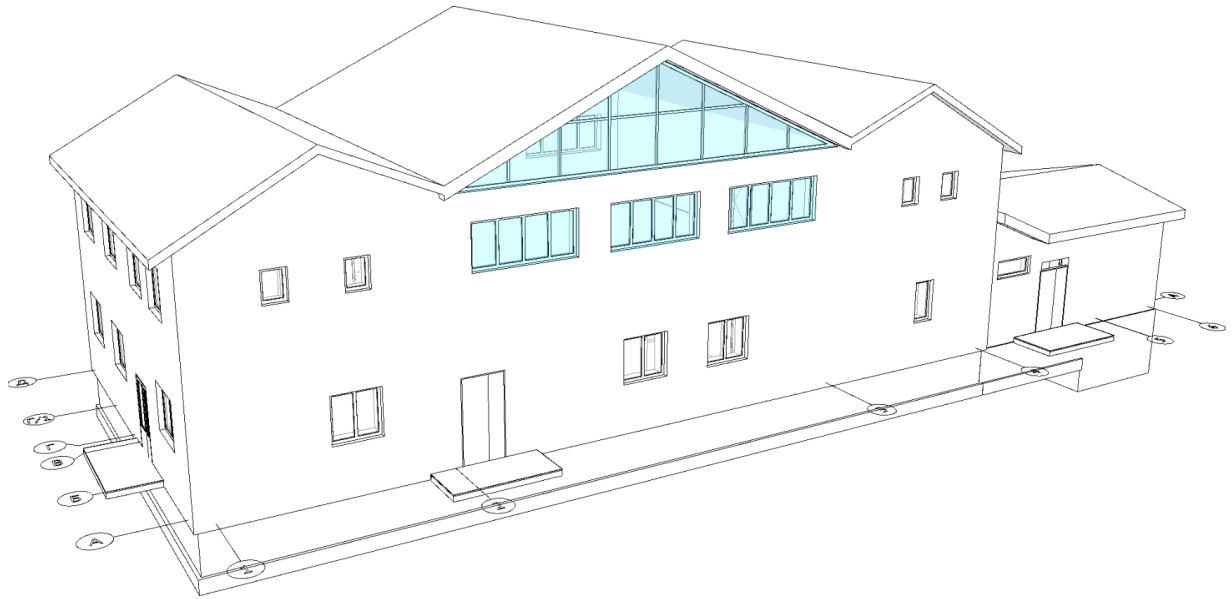


Рис.1. Загальний 3D вид об'єкту (кольором позначено віконні огорожувальні конструкції офісного приміщення)

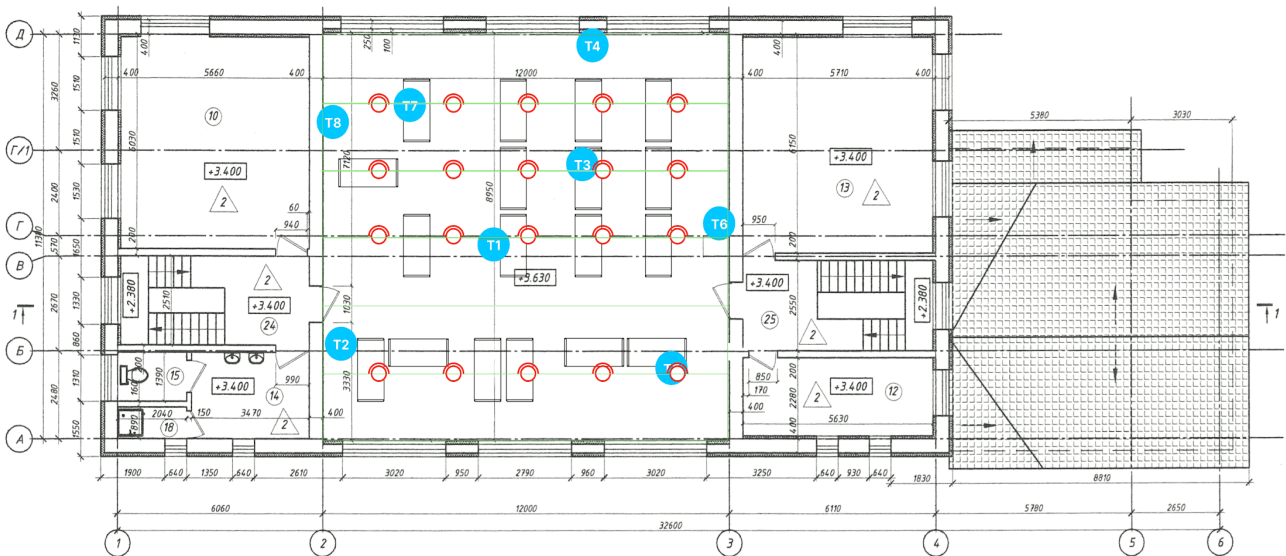


Рис.2. Схема розташування точок вимірювань (Т) освітленості та розташування наявних світильників (О) з кріпленням до основи металевих ферм даху

За результатами вимірювання (рис. 4) всі три способи дають допустиме відхилення крім випадків екстремально малої освітленості (40...60 лк). Треба відзначити, що використання смартфона як люксметра має свої переваги та недоліки. Серед переваг можна відзначити доступність та портативність цього пристрою. Проте важливо пам'ятати про обмежену точність у вимірюванні освітлення, оскільки кожен смартфон має унікальний датчик освітленості. Для отримання точних результатів, необхідно регулярно калібрувати смартфон та враховувати його обмежені можливості у вимірюванні освітлення [4].

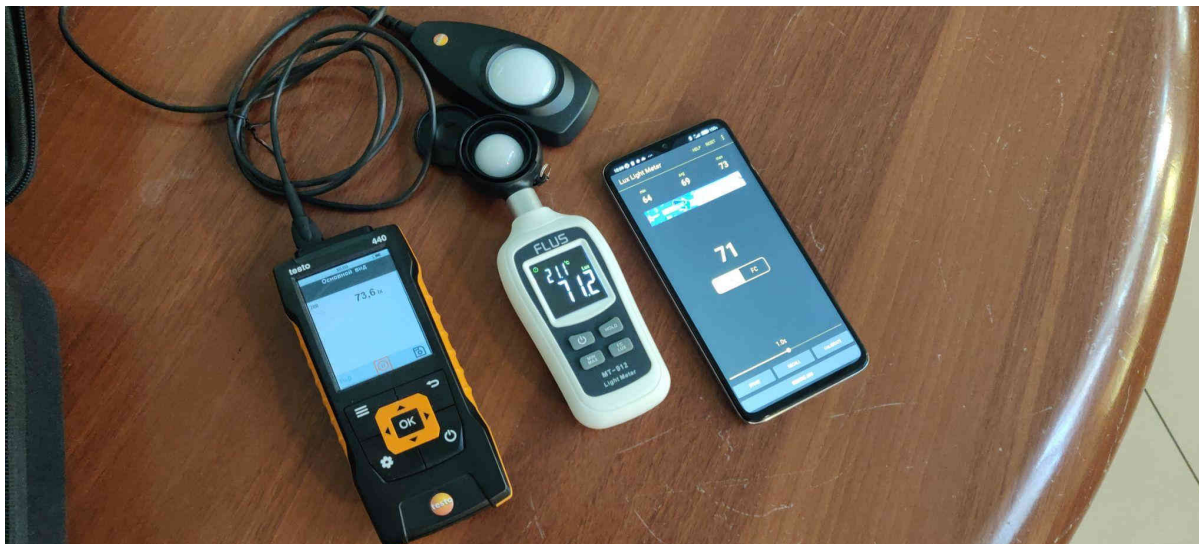


Рис.3. Використані прилади для дослідження з ліва на права: Testo 440, Flus MT-912, смартфон Redmi Note 8 Pro

Аналіз результатів вимірювань. Середня освітленість автоматизованих робочих місць у приміщенні з постійним перебуванням людей становить 241 Лк від змішаного освітлення. За нормами [1, 2] вона повинна бути не менше ніж 500 Лк. Також заміри освітленості природним світлом демонструють дуже низькі для праці значення освітленості від віконних конструкцій.

Цьому сприяє затінення будівлі деревами та архітектурне рішення. Слід зазначити, що за [1, 2] при розрахунках освітленості та інсоляції озеленення не враховують, що часто сприяє незаконному винищенню рослинності.

Таким чином, велика площа скління не завжди надає переваги для освітлення приміщення. Це пов'язано з неврахуванням рослинності. Також природне освітлення спрямоване більше на вертикальні неробочі поверхні та недостатнє в денний час. Тому потрібен пошук варіантів заміни штучного освітлення на енергоефективні рішення зі зменшенням площі скляних конструкцій для зменшення тепловтрат. Наявна система освітлення не відповідає нормам для офісних приміщень та не є енергоефективною.

Наявна система освітлення має 20 світлодіодних ламп Brille 24W/864 E27 CW G95 (PL-SP) 220V з світловий потоком: 1415 лм (біля 60 лм/Вт) на наявних фермах (рис. 5). Висота розташування ламп 2,8 м. Річна потреба в електроенергії 1233 кВт·год/рік.

Розрахуємо необхідний світловий потік потрібний для досягнення 500 Лк на робочих поверхнях в приміщенні. Висота розташування світильників 3,6 м. (нижня лінія конструкцій ферм) за методом коефіцієнта використання світлового потоку при індексі приміщення 2,0. Отримано потрібний світловий потік 93 885 лм. Використовуємо 20 джерел світла, не менше 4694 лм кожне.

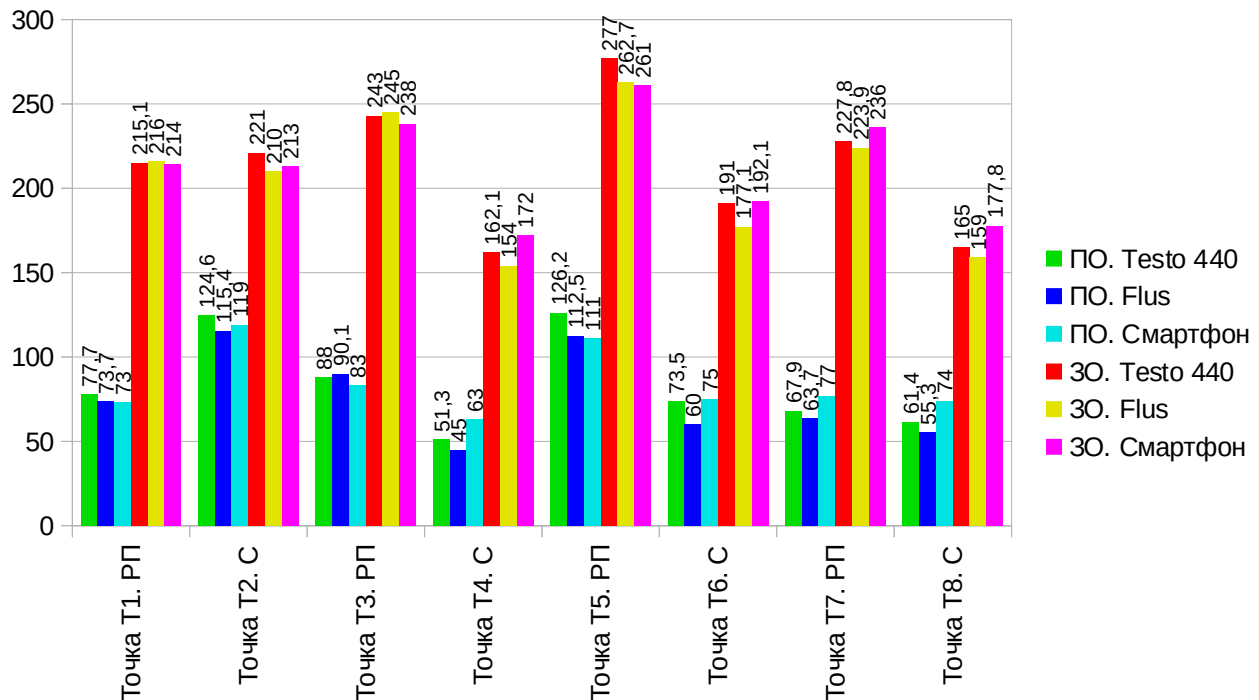


Рис.4. Результати вимірювання: РП – робоча поверхня; С – стіна; ПО – природне освітлення; ЗО – змішане освітлення



Рис. 5. Наявна металева ферма даху для моделювання освітленості

Варіант 1. Світильник 3F Filippi S.p.A. - L 650 42W/840 DALI EP VSS 596x596 з світловий потоком: 4958 лм (біля 120 лм/Вт) UGR (Unified Glare Rating) < 19, мінімальний індекс кольоропередачі (Colour Rendering Index) $R_a = 90$, що відповідає [2,3,5]

Проведено розміщення світильників та моделювання (рис. 6) освітлення в системі DIALux Evo Pro. Для цього BIM модель будівлі імпортовано із Autodesk Revit за допомогою IFC формату.

2376 кВт год/рік

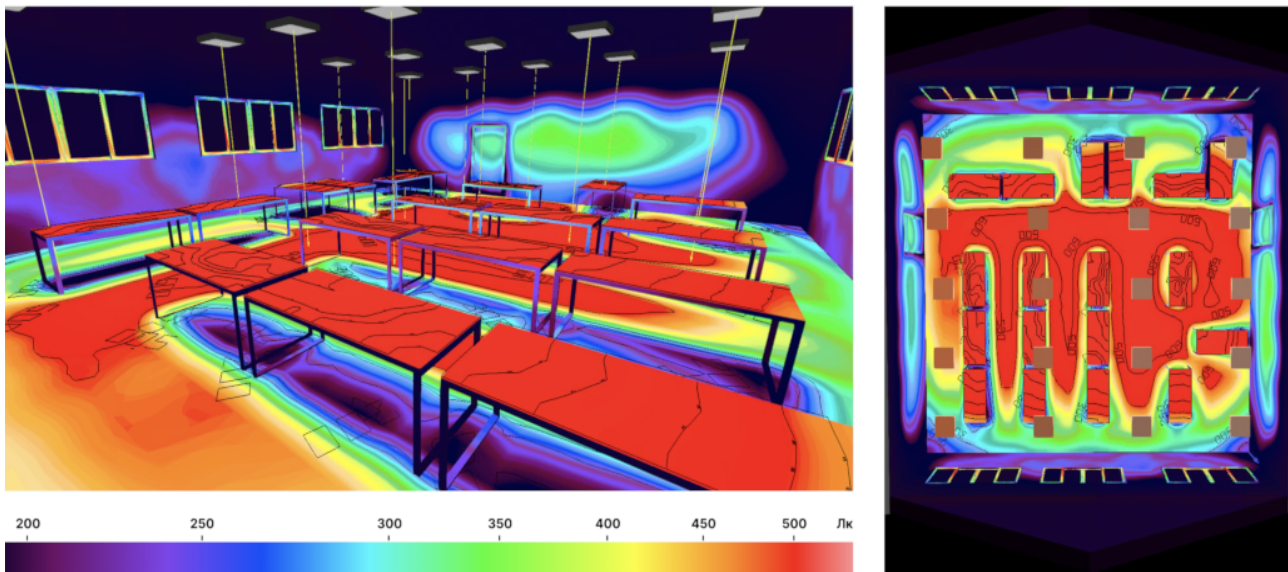


Рис. 6 Умовна кольорова візуалізація моделі освітлення приміщення **Варіант 1**

Модель не враховує вплив природного освітлення для створення комфортних робочих умов в вечірній час. Нова система освітлення потребує 2376 кВт·год/рік

Варіант 2. Світильник Philips LL512X LED50S/840 WB He, 29 Вт з світловим потоком 4994 Лм, (170 лм/Вт) мінімальний індекс кольоропередачі (Colour Rendering Index) $R_a > 80$, UGR (Unified Glare Rating) = 19. Результати моделювання (рис. 7) показують відповідність нормам для офісних автоматизованих робочих місць [2,3,6]. Система освітлення потребує 1436 кВт·год/рік.

Таким чином, комп'ютерне моделювання освітлення дозволяє швидко вибрати доцільні рішення. Більш якісна з точки зору передачі кольорів система освітлення (варіант 1) потребує на 100% більше енергоресурсів за рік, ніж наявна. При цьому постає питання розроблення монтажних рішень під світлові панелі Armstrong.

Варіант 2 зі світлодіодами найбільшої на сьогодні ефективності світловіддачі (170 лм/Вт) підвищує потреби в електроенергії порівняно з наявною системою лише на 17%, але забезпечує нормативну освітленість. При цьому маємо гіршу, але ще комфортну кольоропередачу.

Висновки. Для оцінювання комфортності освітлення достатню точність при широкій доступності надають датчики смартфонів. Але обов'язковою умовою є їхнє періодичне калібрування за професійними вимірювальними приладами. Великі площі скління не завжди надають переваги щодо освітлення приміщення. Природне освітлення більше опромінює вертикальні не робочі поверхні. Комп'ютерне моделювання освітлення рекомендовано для швидкої

1436 кВт год/рік

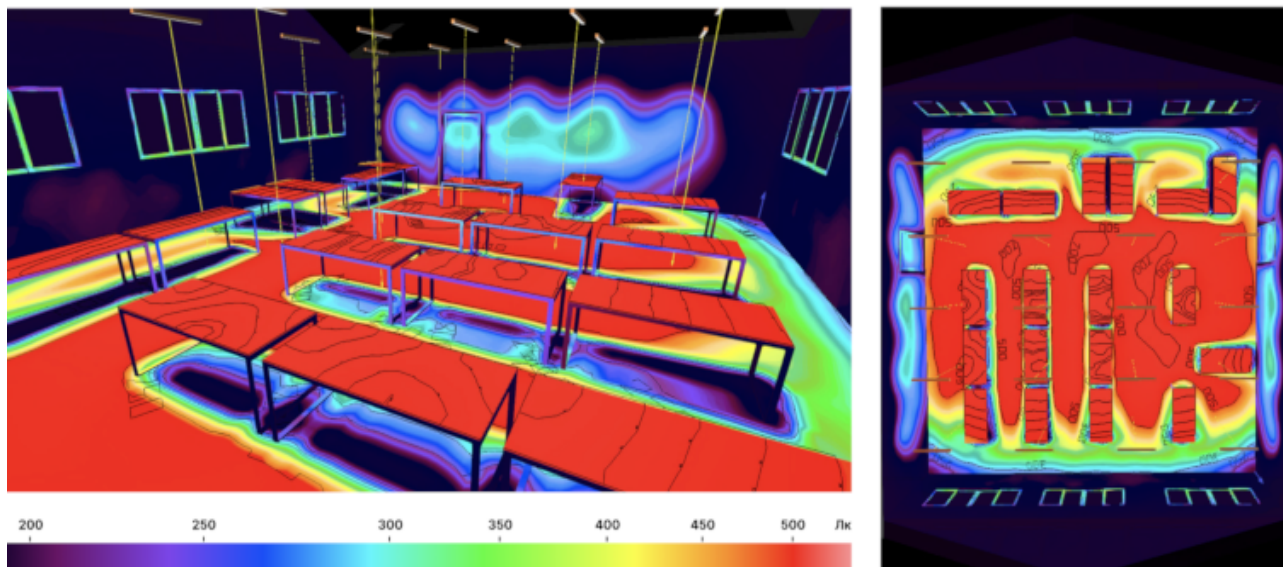


Рис. 6 Умовна кольорова візуалізація моделі освітлення приміщення **Варіант 2**

перевірки гіпотез та вибору кращих рішень освітлення. Більш якісна кольоропередача штучних джерел світла потребує значно більших витрат енергії, ніж більш енергоефективне освітлення, що має нижчу, але достатню кольоропередачу відповідно до норм для роботи в офісному приміщенні. Тому в даному питанні потрібен компроміс. Результати досліджень, спрямованих на визначення та підвищення рівня комфорту працівників, можуть бути використані в подальшому, як приклад для впровадження на схожих об'єктах.

References

1. Svitlo ta osvittlenia. Osvittlenia robochykh mist. Chastyna 1. Vnutrishni robochi mistia. (EN 12464-1) DSTU EN 12464-1 2016, State Enterprise "UkrNDNC", 2018, (in Ukrainian)
2. Pryrodne i shtuchne osvittlenia. DBN V.2.5-28:2018, Ministry of the Region of Ukraine, 2018 (in Ukrainian)
3. Xicato Inc. "Understanding Color Fidelity" XICATO, 2017 - <https://www.xicato.com/wp-content/themes/xicato/documentuploads/WP%20Understanding%20Fidelity%20print.pdf> Accessed 7 November 2023.
4. Jose-Maria Gutierrez-Martinez, Ana Castillo-Martinez, Jose-Amelio Medina-Merodio, Juan Aguado-Delgado and Jose-Javier Martinez-Herraiz. "Smartphones as a Light Measurement Tool: Case of Study" MDPI, 14 June 2017. <https://doi.org/10.3390/app7060616> Accessed 7 November 2023.
5. Rik Spieringhs. "The Unified Glare Rating (UGR)" Light & Lighting Blog, March 27, 2023, <https://rikspieringhs.nl/UnifiedGlareRating.html> Accessed 7 November 2023
6. Svitylnyky zi svitlodiodnymy dzherelamy svitla. Zahalni tekhnichni umovy. DSTU 8546:2015, State Enterprise "UkrNDNC" 2017. (in Ukrainian)

UDC 628.9

Student., **Oleksandr Demydov**,
22249-eeb.demydov@365.pdaba.edu.ua, ORCID: 0009-0008-4061-0010,
Postgraduate. **Leonid Kosenko**,
kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8841-8318,
Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof. **Olena Koval**
koval.olena@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7805-6811,
Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof. **Euhennii Yurchenko**,
yel@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9356-3261,
Pridniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture

RESEARCH AND SIMULATION OF AN OFFICE LIGHTING

Abstract. *This research thoroughly examines the evaluation and optimization methods of office lighting aimed at improving energy efficiency and the working environment through the implementation of advanced lighting technologies. Including a comprehensive technical survey of existing lighting conditions, the development of scientifically substantiated recommendations takes into account regulatory requirements and contemporary practices in the field of lighting technology. An analysis of lighting efficiency, selection of optimal light sources, calculation of their placement for maximum efficiency, and assessment of the impact on energy savings are performed, with the goal of achieving better working conditions and reducing energy consumption. The study includes the following steps: illuminance as a critical factor affecting employee productivity and comfort; technical survey of the lighting system in the office space; methodology for conducting the technical survey – measurements of illuminance in different areas of the space using a lux meter; assessment of the need for luminous flux according to norms and standards for office spaces; selection of the type and power of LED lamps for the new lighting system; calculation of the number and placement of LED lamps to provide the necessary level of illuminance in the automated system DIALux Evo Pro; assessment of the expected results in the context of energy savings and improvement of working conditions; calculation of energy expenditures for the new lighting system; potential impact of the research results on energy management and energy audit in the construction sector. The research conclusions suggest strategies for the implementation of an innovative lighting system, which leads to the optimization of energy consumption and significant improvement of lighting quality. These strategies are expected not only to improve the working environment but also to lead to substantial energy resource savings in offices, thereby promoting ecological sustainability and financial efficiency.*

Keywords: *insolation, illuminance, energy efficiency, occupational safety, modernization, research.*