

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка алгоритмів та реалізація розрахунку освітлення приміщень
згідно норм ДСТУ

Виконав: студент IV курсу, групи СН-42

спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Салюк С. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Никитюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тимощук Д. І.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Салюк Софії Миколаївній
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка алгоритмів та реалізація розрахунку освітлення приміщень згідно норм ДСТУ

Керівник роботи Никитюк Вячеслав Вячеславович, к.т.н., доц., доц. каф. КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» травня 2026 року № 4/9-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи ДСТУ EN 12464-1:2022 "Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця", наукові публікації та навчальні посібники зі світлотехніки та веб-технологій, інформація про існуючі програмні рішення для освітлення

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, Розділ 1. Аналіз предметної області, стандарти освітлення робочих приміщень, аналіз цільової аудиторії, аналіз існуючих програмних рішень, доцільність розробки власного програмного рішення для розрахунку освітлення, Розділ 2. Проектування та методи реалізації, вибір технології розробки, архітектура веб- застосунку, проектування бази даних, алгоритм розрахунку освітлення, Розділ 3. Практична реалізація та результати, Програмна реалізація клієнтської і серверної частини веб-застосунку, оформлення інтерфейсу користувача, тестування роботи додатку на двох прикладах, перспектива подальшого розвитку, Розділ 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці, Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу: діаграма принципу роботи веб-застосунку, ER-діаграма, лістинги реалізації, зображення вигляду веб-застосунка і результатів роботи, таблиця результатів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О. Я. канд. техн. наук, доц.		

7. Дата видачі завдання 12 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	14.05.2026	Виконано
2.	Підбір та опрацювання літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	15.05.2026 – 17.05.2026	Виконано
3.	Виконання дослідження щодо нормативної бази, цільової аудиторії та існуючих програмних рішень для розрахунку освітлення	17.05.2026 – 19.05.2026	Виконано
	Розроблення архітектури веб-додатку, структури бази даних та алгоритмів розрахунку освітлення	19.05.2026 – 29.05.2026	Виконано
4.	Оформлення розділу «Аналіз предметної області»	29.05.2026-01.06.2026	Виконано
	»		
5.	Оформлення розділу «Проектування та методи реалізації»	01.06.2026-02.06.2026	Виконано
6.	Оформлення розділу «Практична реалізація та результати»	02.06.2026-03.06.2026	Виконано
7.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	03.06.2026-05.06.2026	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	05.06.2026-07.06.2026	Виконано
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	07.06.2026-08.06.2026	Виконано
10.	Нормоконтроль	10.06.2026	Виконано
11.	Перевірка на плагіат	11.06.2026	Виконано
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	15.06.26	Виконано
13.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2025	

Студент

(підпис)

Салюк С. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

НИКИТЮК В.В

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розробка алгоритмів та реалізація розрахунку освітлення приміщень згідно норм ДСТУ // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Салюк Софія Миколаївна// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-42// Тернопіль, 2025 // С. 65 , рис. – 8, табл. – 1, додат. – 1, бібліогр. – 54.

Ключові слова: веб-застосунок, розрахунок освітлення, рівномірність освітлення, PHP, MySQL, світлотехнічні розрахунки, AJAX

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів та розробці програмного забезпечення для автоматизації світлотехнічних розрахунків робочих приміщень з урахуванням вимог державних стандартів України.

В першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто нормативні вимоги щодо освітлення робочих приміщень відповідно до стандарту, а також визначено основні параметри для розрахунку освітлення. Проведено аналіз цільової аудиторії. Розглянуто доступні рішення та визначено їхні основні переваги і недоліки. Також проаналізовано перспективи створення власного веб-застосунка з розширеними можливостями.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз і наукове обґрунтування вибору технологій для розробки. Представлено архітектурний дизайн веб-застосунку, який реалізовано на основі клієнт-серверної моделі взаємодії. Описано проєктування бази даних, яка складається з п'яти основних таблиць.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано програмну реалізацію веб-застосунку. Проаналізовано результати роботи додатку на прикладі розрахунку освітлення.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого розрахунку освітлення робочих приміщень з урахуванням нормативних вимог ДСТУ.

Предмет дослідження: методи та програмні засоби для розрахунку кількості світильників залежно від параметрів приміщення, характеристик світильників та обраної стратегії оптимізації.

ANNOTATION

Development of Algorithms and Implementation of Room Lighting Calculations According to DSTU Standards // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Sofiia Saliuk// Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-42 // Ternopil, 2025 // P. 65, fig. – 8, tabl. – 1, annexes. – 1, references – 54.

Keywords: web application, education calculation, education uniformity, PHP, MySQL, lighting calculations, AJAX

The qualification work is dedicated to the research of methods and the development of software for automating lighting calculations of working premises, taking into account the requirements of the state standards of Ukraine.

The first section of the qualification work examines the regulatory requirements for lighting of working premises according to the standard, and also defines the main parameters for lighting calculation. An analysis of the target audience is carried out. Available solutions are considered and their main advantages and disadvantages are identified. The prospects for creating a custom web application with extended capabilities are also analyzed.

The second section of the qualification work provides an analysis and scientific justification for the choice of development technologies. The architectural design of the web application, implemented on the basis of a client-server interaction model, is presented. The database design, which consists of five main tables, is described.

The third section of the qualification work describes the software implementation of the web application. The results of the application are analyzed using the example of lighting calculation.

Object of research: the process of automated calculation of lighting for working premises, taking into account the regulatory requirements of DSTU.

Subject of research: methods and software tools for calculating the number of luminaires depending on the parameters of the room, the characteristics of the luminaires, and the chosen optimization strategy.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AJAX – Asynchronous JavaScript And XML

CSS – Cascading Style Sheets

HTML – HyperText Markup Language

ISO – International Organization for Standardization

JSON – JavaScript Object Notation

PDO – PHP Data Objects

SQL – Structured Query Language

UGR – Unified Glare Rating

ДБН – Державні будівельні норми

ДСТУ – Державні стандарти України

ЗМІСТ

ВСТУП.....		13
РОЗДІЛ.1	АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	15
1.1	Стандарти освітлення робочих приміщень	15
1.1.1	ДСТУ EN 12464-1	16
1.1.2	EN.....	18
1.1.3	IOS.....	19
1.2	Аналіз цільової аудиторії	20
1.3	Аналіз існуючих програмних рішень.....	22
1.3.1	Калькулятор компанії Videx	22
1.3.2	Калькулятор Brille	23
1.4	Доцільність розробки програмного забезпечення	24
1.5	Висновки до першого розділу.....	25
РОЗДІЛ.2	ПРОЄКТУВАННЯ ТА МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	26
2.1	Вибір технологій розробки.....	26
2.2	Архітектура веб-застосунку	29
2.3	Проектування бази даних	31
2.4	Алгоритми розрахунку освітлення.....	35
2.5	Висновки до другого розділу	39
РОЗДІЛ.3	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ	40
3.1	Програмна реалізація серверної частини.....	40
3.2	Програмна реалізація клієнтської частини.....	41
3.3	Інтерфейс користувача та зручність використання	42
3.4	Тестування роботи веб-застосунку	46
3.4.1	Методика тестування	46
3.4.2	Тестовий приклад 1: складське приміщення.....	47
3.4.3	Тестовий приклад 2: навчальна аудиторія.....	49
3.4.4	Аналіз отриманих результатів	51
3.5	Перспектива подальшого розвитку	52

РОЗДІЛ.4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ	
ПРАЦІ		54
4.1	Заходи, що забезпечують рішення питань електробезпеки.....	54
4.2	Вимоги до виробничого освітлення та його нормування	56
ВИСНОВКИ.....		58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ		60

ВСТУП

Актуальність теми. Правильне проектування системи освітлення у робочих приміщеннях відіграє ключову роль у підвищенні продуктивності праці, зменшенні рівня втоми персоналу та забезпеченні їхньої безпеки. Вимоги до освітлення регламентуються встановленими нормами, зокрема ДСТУ EN 12464-1:2022. Проте сучасні програмні інструменти для виконання таких розрахунків мають низку суттєвих обмежень. Професійне програмне забезпечення характеризується високою складністю та потребує значних затрат часу для опанування і виконання розрахунків. Існуючі онлайн-калькулятори нерідко ігнорують питання рівномірності освітлення та не пропонують ефективних і адаптивних стратегій оптимізації. У зв'язку з цим розроблено веб-застосунок, що забезпечує швидке та точне моделювання освітлення відповідно до стандартів ДСТУ й надає можливість використовувати різноманітні оптимізаційні стратегії.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка веб-застосунку для автоматизації світлотехнічних розрахунків робочих приміщень з урахуванням нормативних вимог ДСТУ.

Для досягнення мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати нормативну базу та визначити основні параметри для розрахунку освітлення;
- провести аналіз цільової аудиторії та порівняльний огляд існуючих програмних рішень (калькуляторів) для розрахунку освітлення, виявити їхні переваги та недоліки;
- обрати та науково обґрунтувати технології для розробки веб-застосунку (PHP, MySQL, HTML/CSS/JavaScript, Bootstrap, jQuery);
- спроектувати архітектуру веб-застосунку та базу даних для зберігання нормативних значень, інформації про світильники та історії розрахунків;

- розробити алгоритми розрахунку освітлення за двома режимами: мінімальна кількість світильників за нормою освітленості та рекомендована кількість з урахуванням рівномірності освітлення;
- реалізувати веб-застосунок з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що дозволяє вводити параметри приміщення та світильника, обирати режим розрахунку, отримувати результат та зберігати історію розрахунків;
- протестувати роботу додатку на типових прикладах та проаналізувати отримані результати.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений додаток може використовуватися інженерами, дизайнерами та електриками для швидкого попереднього розрахунку необхідної кількості світильників з можливістю вибору стратегії оптимізації для економії коштів чи енергоефективності.

РОЗДІЛ.1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Стандарти освітлення робочих приміщень

Для належного проектування систем освітлення слід орієнтуватися на нормативно-правові документи, які встановлюють вимоги щодо рівнів освітленості для різних категорій приміщень. Правильно обране освітлювальне обладнання сприятливо позначається на емоційному стані та фізичному здоров'ї людини, сприяючи підвищенню концентрації уваги й продуктивності діяльності. Водночас будь-яке відхилення від нормативних показників рівня освітленості може призводити до протилежного ефекту.

Стандарти освітлення на виробництві – це встановлені нормативними документами вимоги до рівня та якості освітлення у робочих зонах. В Україні стандарти освітлення традиційно регулюються такими документами, як ДБН, ДСТУ, ГОСТ, а також міжнародними нормами EN та ISO [1]. Основні параметри освітлення виробничих приміщень визначаються залежно від специфіки їхнього призначення та сфери застосування. Вони включають рівень освітленості, рівень яскравості від світильника, індекс кольору, колірну температуру світла.

Норми освітлення, вимірюються в люксах. Визначає норму освітлення для різних зон виробництва, зокрема для робочих місць, проходів, складів тощо. Для кожного типу виробничих робіт передбачена своя мінімальна норма освітленості [2]

Рівень яскравості від світильника, UGRL (Unified Glare Rating Limit) – оцінка неприємного сліпучого світла в приміщеннях та на робочих місцях [3]. Чим менший цей коефіцієнт, тим комфортнішими є умови для людського зору.

Індекс кольору (Ra або CRI) – це параметр, який показує, наскільки природно виглядають кольори об'єктів при освітленні конкретною лампою у порівнянні з ідеальним світлом [4]. Це набуває особливої важливості в аспекті виконання високоточних завдань та у виробничих процесах, де візуальний контроль є необхідною умовою забезпечення якості.

Колірна температура світла – інтенсивність світла з урахуванням хвильової довжини, в допустимому для ока, діапазоні. Вимірюється в Кельвінах [5]. Чим нижча температура (2700К-3000К), тим світло тепліше і затишніше, а чим вища (5000К-6500К), тим воно холодніше і яскравіше.

Рівномірність освітлення (U_0) – міра наскільки рівномірно розподіляється світло у заданому просторі[6]. Зазвичай це виражається як а співвідношення між мінімальною та середньою освітленістю Цей показник визначає, наскільки рівномірно світло розподіляється по всьому приміщенню.

Для створення оптимальних умов роботи враховуються такі аспекти, як особливості виконуваних завдань, необхідний рівень точності, ризик виникнення тіней, а також безпека і зручність для робітників.

1.1.1 ДСТУ EN 12464-1

В Україні нормативна база у сфері освітлення базується на системі Державних стандартів України, яка протягом останнього десятиліття поступово адаптується до європейських та міжнародних стандартів. Стандарт визначає світлотехнічні вимоги до освітлення закритих робочих приміщень, орієнтуючись на різноманітні типи завдань, включно з роботою за екранами моніторів [7]. Його головна мета – створення таких умов, які дозволяють працівникам ефективно, точно, безпечно та комфортно виконувати свої обов'язки протягом тривалого робочого часу. У документі окреслено ключові аспекти проектування освітлення: характеристики світлового середовища, розподіл яскравості, норми освітленості для різних зон, забезпечення рівномірності освітлення, регулювання дискомфортової та відбитої блискавості. Також висвітлено питання кольоропередачі, пульсації, стробоскопічного ефекту та особливі вимоги до освітлення робочих місць з використанням моніторів.

ДСТУ EN 12464-1:2022 є найбільш актуальним і технічно прогресивним документом у сфері світлотехніки, оскільки повністю відповідає останній редакції європейського стандарту 2021 року. Основною концептуальною зміною нового документа є зміщення акценту з простого забезпечення необхідного рівня

освітленості робочої поверхні до врахування високих стандартів якості світлового середовища і комфорту робітників. У порівнянні з редакцією 2011 року, актуальний стандарт містить ряд суттєвих нововведень, які тепер є обов'язковими й для українських спеціалістів, що займаються проектуванням освітлення.

По-перше, особлива увага приділяється сприйняттю яскравості приміщення – це суб'єктивне відчуття людини щодо того, наскільки світлою або темною здається кімната, яке залежить не лише від фактичної кількості світла, а й від візуального сприйняття простору, кольорів, матеріалів та розподілу світла [8]. Це передбачає нормування мінімального рівня освітленості стін та стелі, що має створити комфортні умови для роботи завдяки рівномірному розподілу світла по усьому приміщенню. Таким чином, проектувальники тепер мусять враховувати не лише горизонтальну освітленість, але й просторовий розподіл світлових потоків.

По-друге, оновлено методику визначення показника дискомфорту UGR (Unified Glare Rating). Зокрема, в нормативі надаються уточнені рекомендації щодо розрахунків для сучасних систем світлодіодного освітлення, особливо у випадках, коли використовуються світильники з нестандартними крилами розподілу світлового потоку [9].

По-третє, найвагоміше нововведення цієї редакції стосується офіційного визнання невізуальних ефектів світла. Зокрема, документ базується на доказах впливу освітлення на регулювання біологічних ритмів через стимуляцію вироблення мелатоніну в організмі людини [10]. Хоча наразі ці вимоги є лише рекомендаціями, вони задають чіткий напрям розвитку інтегрованих інтелектуальних систем освітлення.

Четверта суттєва зміна стосується зонування простору з точки зору освітлення. Стандарт визначає три основні області розрахунків:

- зона завдання – це робоча поверхня зі строго нормованим рівнем освітленості [11];

- найближче оточення – зона шириною від пів метра навколо площини завдання, для якої мінімальна освітленість не повинна падати нижче 50% від робочого стандарту [12];
- фонове оточення – решта приміщення, де рівень освітленості повинен становити принаймні 20% від робочого [13].

Також стандарт уточнює вимоги до пульсації світлового потоку і попередження стробоскопічного ефекту – особливо важливо для середовищ із рухомими механізмами [14].

Отже, впровадження стандарту ДСТУ EN 12464-1:2022 замість застарілих ДСТУ та EN дає можливість українським проєктувальникам працювати за єдиним сучасним нормативом. Розробка програмного забезпечення орієнтується саме на цей документ.

1.1.2 EN

Європейський стандарт EN 12464-1:2021 “Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places” на сьогодні є одним із найсучасніших і технологічно передових документів у сфері світлотехніки. Цей стандарт замінив попередню версію 2011 року й впроваджений як національний у всіх країнах Європейського Союзу. У різних країнах він має власні позначення: у Великій Британії – BS EN, у Німеччині – DIN EN, в Італії – UNI EN тощо. Його розробкою займався технічний комітет CEN/TC 169 “Light and lighting”, зокрема робоча група WG 2 “Beleuchtung von Arbeitsstätten” [15].

Новий стандарт рекомендує починати з 500 люкс для загальних завдань, потенційно збільшуючи до 1000 люкс залежно від таких факторів, як вік мешканців. Це створює суперечність між користю для здоров'я та цілями сталого розвитку [16]. Існує ризик спрощених підходів, коли підрядники можуть застосувати однаковий рівень освітлення в 1000 люкс на всю площу без розрізнення зон. Або ж, навпаки, вони можуть суттєво зменшувати освітлення на периферійних ділянках, щоб знизити витрати. Обидва ці сценарії не відображають продуманого підходу, передбаченого стандартом.

Сучасні світлодіодні технології разом із інтелектуальними системами керування пропонують оптимальні рішення. Вони дають змогу забезпечити вищі рівні освітленості, не збільшуючи істотно споживання енергії, завдяки вдосконаленій оптиці та розумному управлінню.

1.1.3 IOS

На міжнародному рівні ключовим документом у галузі освітлення робочих приміщень є стандарт ISO 8995-1:2002(E)/CIE S 008/E:2001 “Освітлення робочих місць. Частина 1: Інтер'єри”, розроблений спільно Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) та Міжнародною комісією з освітлення (CIE). Цей документ закладає основи для регулювання вимог до освітлення приміщень. Потрібно розуміти, що ієрархія та зв'язок з іншими нормативними актами суттєво впливають на їхню актуальність і практичне значення [17].

Стандарт ISO 8995-1:2002 став базисом для першої редакції європейського стандарту EN 12464-1, опублікованого у 2002 році. Проте, якщо EN 12464-1 відтоді активно переглядався, включаючи суттєві оновлення у 2011 та 2021 роках, то ISO 8995-1:2002 залишився практично незмінним, окрім невеликої корекції у 2005 році. Це спричинило суттєвий розрив між актуальністю міжнародних і європейських вимог [18].

ISO 8995-1:2002 визначає ключові принципи освітлення робочих приміщень, встановлюючи такі вимоги, як рівень освітленості, обмеження дискомфортової блискотності (UGR) та мінімальний індекс кольоропередачі. Водночас ISO 8995-1:2002 не враховує сучасні вимоги, зокрема обов'язкову освітленість стін і стелі, вплив світла на циркадні ритми людини та актуальні методики розрахунку пульсацій для світлодіодних систем.

З огляду на це, ISO 8995-1:2002 можна розглядати радше як базовий і фундаментальний документ, тоді як EN 12464-1:2021 значно випереджає його за рівнем деталізації і врахуванням новаторських підходів у забезпеченні якості світлового середовища.

Порівнюючи європейські стандарти із українськими, можна зазначити, що ДСТУ EN 12464-1:2022 за основними кількісними характеристиками – освітленість, UGR, кольоропередача – наближений до положень ISO 8995-1:2002 [19]. Однак він також не охоплює більш прогресивних вимог EN 12464-1:2021 до якісних параметрів, таких як освітленість вертикальних площин і стелі, а також вплив світла на організм людини.

Це породжує певний нормативний розрив. Українські проектувальники, які виконують замовлення на міжнародному ринку або в рамках європейських грантів, змушені орієнтуватися на EN 12464-1. Однак для проходження державної експертизи в Україні вони мають дотримуватись вимог ДСТУ.

Таким чином, аналіз стандартів свідчить про необхідність адаптації програмного забезпечення для підтримки розрахунків згідно з методиками ДСТУ EN 12464-1:2022 та можливості роботи відповідно до EN 12464-1:2021. Зокрема, це стосується врахування вимог до освітленості різних поверхонь, удосконаленого показника UGR, а також сучасних вимог щодо контролю пульсацій світлового потоку і невізуальних ефектів освітлення.

1.2 Аналіз цільової аудиторії

Розроблений веб-застосунок для розрахунку освітлення робочих приміщень має на меті задовольнити потреби широкого спектра фахівців, які потребують оперативного та зручного засобу для здійснення світлотехнічних розрахунків. Проведений аналіз цільової аудиторії допомагає сформулювати чіткі вимоги до функціональних можливостей і дизайну користувацького інтерфейсу програми з урахуванням особливостей професійної діяльності різних груп користувачів.

Основною цільовою аудиторією є інженери-світлотехніки, які займаються професійним проектуванням систем освітлення для різних типів приміщень [20]. Ці фахівці потребують швидкого попереднього розрахунку кількості світильників, можливості перевірки відповідності нормам ДСТУ/ДБН та

збереження проміжних результатів для подальшої роботи. За даними дослідження ринку програмного забезпечення для світлотехнічних розрахунків, більшість професійних інженерів використовують спеціалізоване ПЗ такі як DIALux чи Relux, однак для швидких прикидок та попередніх розрахунків часто звертаються до онлайн-калькуляторів [21]. Цей додаток створений спеціально для тієї ніші, де потрібен швидкий, зручний та безкоштовний інструмент для попередніх розрахунків.

Наступною за чисельністю групою є дизайнери інтер'єру та архітектори, які часто стикаються з необхідністю розрахувати освітлення на етапі концептуального проекту [22]. Їм не потрібна висока точність професійних світлотехнічних програм, оскільки детальні розрахунки все одно виконуватимуться інженерами, але важлива швидкість отримання результату та візуальна наочність для презентації клієнту. У зв'язку з тим, що для невеликих проектів залучення окремого фахівця-світлотехніка не завжди є економічно доцільним, можна припустити, що значна частина дизайнерів інтер'єру виконує базові світлотехнічні розрахунки самостійно. Про це опосередковано свідчить поява на українському ринку навчальних курсів, які навчають дизайнерів роботі з програмами світлотехнічного розрахунку [23]. Для цієї категорії ключовими вимогами є зрозумілий інтерфейс без надто спеціалізованої термінології, можливість швидкої зміни параметрів приміщення та можливість обирати між різними режимами розрахунку – економним чи комфортним.

Практикуючі електрики та будівельники також становлять значну частину потенційних користувачів. Вони часто потребують розрахунку кількості світильників для конкретних об'єктів – офісів, магазинів, складів, виробничих приміщень [24]. При цьому, згідно з інформацією навчальних центрів, цільовою аудиторією для опанування світлотехнічних розрахунків є, зокрема, “електрики, проектувальники, а також всі ті, хто хотів би навчитися грамотно використовувати світло в оформленні просторів” [25]. Ці фахівці не завжди мають доступ до спеціалізованого ПЗ або достатньої кваліфікації для роботи з ним. Для цієї категорії важливими є простота використання – мінімум вхідних

даних, можливість врахування різних типів світильників та автоматичне дотримання норм ДСТУ, що гарантує відповідність розрахунків державним стандартам.

Порівнюючи вимоги різних груп цільової аудиторії, можна виділити спільні потреби, які має задовольняти додаток: швидкість виконання розрахунків, мінімальна кількість вхідних даних, базування на актуальних нормах ДСТУ та зрозуміле представлення результатів. Водночас різні групи мають різні вимоги до точності та до рівня деталізації результатів. Унікальність розробленого додатку полягає у тому, що він пропонує два режими розрахунку – мінімальний та рекомендований, що дозволяє задовольнити потреби різних категорій користувачів.

1.3 Аналіз існуючих програмних рішень

Для визначення конкурентних переваг та визначення місця розроблюваного програмного забезпечення проведено детальний аналіз існуючих на ринку рішень.

1.3.1 Калькулятор компанії Videx

Компанія Videx, один із провідних європейських виробників світлотехнічної продукції, пропонує на своєму сайті спеціалізовані калькулятори для розрахунку освітлення [26]. Принцип роботи цього інструменту полягає в тому, що користувач обирає модель світильника Videx, задає параметри приміщення, вводить коефіцієнти відбиття поверхонь і вказує необхідний рівень освітленості. На основі цих даних калькулятор визначає оптимальну кількість світильників, пропонує схему їх розташування та оцінює рівномірність освітлення.

Головною перевагою цього сервісу є висока точність розрахунків, оскільки інструмент використовує реальні фотометричні дані світильників, що доступні у форматах файлів .ies або .ldt. Додатково калькулятор інтегрується з системами

автоматизованого проектування та враховує ключові характеристики сучасних світлодіодних світильників, зокрема їх спектральний склад і криві сили світла.

Однак у цього рішення є і недоліки. Найсуттєвішим із них є так званий *vendor lock-in* прив'язка до одного виробника [27]. Такий підхід не дозволяє користувачам порівнювати моделі різних брендів чи працювати з узагальненими даними. Якщо в проєкті йдеться про використання продукції інших марок, таких як Philips, RZB або Osram, калькулятор Videx стає недієвим.

До того ж, простота у використанні досі залишається проблемою. Занадто складний інтерфейс робить цей калькулятор непридатним для непрофесіоналів.

1.3.2 Калькулятор Brille

Brille – це професійний онлайн-калькулятор, орієнтований на інженерів та дизайнерів освітлення [28]. Основний функціонал сервісу базується на можливості створювати тривимірну модель приміщення або використовувати готові шаблони. Користувачі можуть розміщувати світильники, завантажуючи власні файли у форматі .ies від будь-яких виробників. Після цього система автоматично генерує карту освітленості у вигляді псевдокольорового зображення та розраховує показник UGR.

До переваг Brille належать якісна візуалізація у форматі теплової карти освітленості, підтримка широкого спектра файлів IES незалежно від виробника, а також точний розрахунок UGR, виконаний згідно з таблицями Міжнародної комісії з освітлення. Такий підхід забезпечує високу гнучкість і відповідність міжнародним стандартам.

Водночас у цього рішення є кілька недоліків. По-перше, повнофункціональний доступ до Brille надається лише за передплатною моделлю, що може виявитися фінансово недосяжним для малих підприємств чи незалежних дизайнерів. По-друге, інтерфейс програми доволі складний і вимагає часу для освоєння, що обмежує можливість її використання непрофесіоналами. Найбільшим недоліком є те, що Brille орієнтований виключно на європейські та міжнародні стандарти, повністю ігноруючи вимоги українських ДСТУ. Як

наслідок, цей інструмент не підходить для проектів, які мають відповідати нормам державної експертизи в Україні.

1.4 Доцільність розробки програмного забезпечення

Проведений детальний аналіз двох різнотипних програмних рішень – пропріетарного калькулятора виробника Videx та професійного інструменту Brille – виявив суттєві прогалини, які жоден з існуючих інструментів не закриває повністю. Це обґрунтовує доцільність створення власного програмного забезпечення.

Першим і найвагомим аргументом на користь розробки є нормативна унікальність. Жоден з існуючих калькуляторів не підтримує вимоги чинного в Україні стандарту ДСТУ EN 12464-1:2022, необхідного для проходження державної експертизи в Україні, та інших національних нормативних документів. Розроблюване програмне забезпечення може стати першим інструментом, який закриває цю важливу потребу українських проектувальників, що працюють як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Другим аргументом є необхідність створення гібридного підходу, який поєднує точність професійних розрахунків з простотою використання для непрофесіоналів. Як було показано, Brille дає високу точність, але є надто складним для пересічного користувача. Запропонована концепція програмного забезпечення з багаторівневим інтерфейсом дозволяє поєднати точний розрахунок світлового потоку методом коефіцієнта використання з простим інтерфейсом.

Третім аргументом є відсутність прив'язки до конкретного виробника. На відміну від калькулятора Videx, який працює виключно з продукцією цього бренду, розроблюване програмне забезпечення дозволить користувачеві вводити світловий потік у люменах для будь-якого світильника, що забезпечує повну незалежність від виробника.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі виконано теоретичне обґрунтування потреби в розробці власного веб-застосунку для розрахунку освітлення. Проведено аналіз нормативної бази (ДСТУ, EN, ISO), що дозволило визначити основні параметри освітлення, які слід реалізувати в програмному продукті. Оцінено потреби цільової аудиторії, завдяки чому сформульовано вимоги до функціоналу додатку: швидкість виконання розрахунків, простота використання, відповідність чинним нормам та можливість вибору стратегії розрахунків. Проведено порівняльний аналіз існуючих програмних рішень (Videx, Brille), який виявив спільні недоліки: нехтування рівномірністю освітлення, відсутність можливості вибору гнучких стратегій підбору параметрів та використання абстрактних моделей світильників. Ці недоліки стали основою для прийняття рішення про створення власного інструменту, який би враховував виявлені проблеми та надавав користувачам можливість обирати між кількома стратегіями розрахунків.

РОЗДІЛ.2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Вибір технологій розробки

Розробка сучасного веб-застосунку вимагає ретельного вибору технологічного стеку. Технології веб-розробки – сукупність інструментів, які використовуються для створення сайтів. Вони охоплюють дві основні галузі: frontend і backend. Кожна з них відіграє важливу роль у створенні повноцінному веб-застосунку або сайту [29]. Фронтенд (клієнтська частина) відповідає за візуальне представлення та взаємодію з користувачем. Бекенд (серверна частина) забезпечує обробку даних, виконання бізнес-логіки та зберігання інформації [30]. При створенні веб-орієнтованих систем важливо обирати технології, які забезпечують оптимальне співвідношення продуктивності та швидкості розробки.

Для створення серверної частини веб-застосунку було вирішено використовувати мову програмування PHP. Таке рішення прийнято на основі аналізу технічних особливостей та практичних переваг, які вона пропонує. По-перше, PHP є однією з найпоширеніших мов у веб-розробці, що забезпечує велику кількість документації, прикладів коду та готових рішень для типових завдань. По-друге, PHP має відносно низький поріг входження та зрозумілий синтаксис, що пришвидшує процес розробки та налагодження [31]. По-третє, PHP надає потужні засоби для роботи з базами даних через розширення PDO (PHP Data Objects), яке підтримує параметризовані запити, захищаючи додаток від SQL-ін'єкцій, а також забезпечує абстракцію від конкретної системи керування базами даних, що полегшує потенційну міграцію [32]. Четвертою перевагою є стабільність та перевіреність мови: на PHP побудовано значну кількість великих веб-проєктів, включаючи популярні системи керування вмістом [33].

Альтернативою PHP могла б бути мова Python, яка також активно використовується у веб-розробці та має численні переваги, зокрема простий та

читабельний синтаксис, а також велику екосистему бібліотек для різноманітних завдань [34]. Проте у Python не завжди оптимальний для створення веб-застосунків із високим навантаженням, а в окремих випадках його продуктивність може поступатися швидкості PHP.

Також, цікавим є порівняння Julia та Python. Мова Julia, спеціально розроблялася для потреб високопродуктивних наукових обчислень, поєднуючи простоту використання з продуктивністю низькорівневих мов. Вона пропонує швидкодію, близьку до C, завдяки JIT-компіляції, що робить її привабливою для задач, де важлива швидкість обробки даних [35]. Незважаючи на ці переваги, Python залишається беззаперечним лідером за популярністю, розміром екосистеми та кількістю вакансій. Проте завдання даної роботи не потребує надзвичайно високої обчислювальної потужності для складних математичних симуляцій, а ключовим є створення стабільного веб-застосунку з базою даних, вибір PHP є цілком виправданим.

Вибір системи керування базами даних (СКБД). Для зберігання нормативних даних та історії розрахунків обрано систему керування базами даних MySQL. Ця СКБД є стандартним вибором для веб-застосунків завдяки своїй надійності, високій продуктивності, безкоштовній ліцензії [36]. MySQL забезпечує підтримку реляційної моделі даних, що дозволяє організувати логічні зв'язки між таблицями, забезпечити цілісність даних через зовнішні ключі та виконувати складні запити для отримання аналітичної інформації.

Вибір технологій для клієнтської частини. Інтерфейс користувача реалізовано з використанням HTML5, CSS3 та JavaScript, що є стандартним набором технологій для створення веб-застосунків. HTML (HyperText Markup Language) забезпечує структурування вмісту сторінки, CSS (Cascading Style Sheets) – візуальне оформлення та адаптивність під різні розміри екранів, а JavaScript – динамічну поведінку та взаємодію з користувачем без необхідності перезавантаження сторінки .

Для спрощення розробки та забезпечення сучасного зовнішнього вигляду використано фреймворк Bootstrap 5, який надає готові компоненти та забезпечує

адаптивний дизайн. Bootstrap дозволяє значно пришвидшити розробку, оскільки зменшує необхідність написання великої кількості власних CSS-стилів та забезпечує кросбраузерну сумісність [37].

Для динамічної взаємодії між клієнтом та сервером застосовано бібліотеку jQuery, яка спрощує виконання AJAX-запитів, маніпуляції з DOM-елементами та обробку подій. Використання AJAX-технології дозволяє надсилати дані форми на сервер та отримувати результати розрахунку без перезавантаження сторінки, що забезпечує плавну та зручну роботу користувача [38].

Для локальної розробки та тестування використано збірку XAMPP, яка включає веб-сервер Apache, систему керування базами даних MySQL та інтерпретатор PHP. XAMPP дозволяє швидко розгорнути повноцінне серверне середовище на локальному комп'ютері, що є зручним для розробки та налагодження веб-застосунку без необхідності оренди віддаленого хостингу. Apache обрано як веб-сервер через його стабільність, високу продуктивність, підтримку конфігурації через файли .htaccess та широке розповсюдження у веб-середовищі [39].

Обраний технологічний стек забезпечує цілісність і повноту розробницького процесу за рахунок здатності охоплювати весь його цикл. Він ефективно вирішує завдання на всіх етапах роботи: від створення бази даних і розробки серверної частини до формування інтуїтивно зрозумілого та зручного користувацького інтерфейсу. Цей стек є класичним для веб-розробки та має низку переваг для даного проєкту:

- по-перше, всі його компоненти є безкоштовними та мають відкритий вихідний код, що не накладає додаткових фінансових витрат;
- по-друге, кожен з компонентів має велику спільноту розробників та значну кількість документації, що полегшує пошук рішень для типових проблем;
- по-третє, цей стек забезпечує високу продуктивність для проєкту з відносно невеликим навантаженням та кількістю одночасних користувачів;
- по-четверте, він не потребує складного налаштування серверного середовища, що зменшує витрати на підтримку та розгортання .

Таким чином, обраний технологічний стек є оптимальним для створення веб-застосунку автоматизованого розрахунку освітлення робочих приміщень.

2.2 Архітектура веб-застосунку

Архітектура веб-застосунку визначає загальну структуру програмного забезпечення, взаємозв'язки між його компонентами та принципи взаємодії з користувачем і зовнішніми системами. Правильно спроектована архітектура забезпечує надійність, масштабованість, безпеку та зручність супроводу програмного продукту [40]. Розроблений веб-застосунок для автоматизованого розрахунку освітлення робочих приміщень побудовано на основі клієнт-серверної архітектури з використанням моделі взаємодії “запит-відповідь”.

Клієнт-серверна архітектура передбачає розподіл обчислювального навантаження між клієнтською частиною, яка виконується у веб-браузері користувача, та серверною частиною, яка функціонує на віддаленому сервері [41]. Такий підхід дозволяє централізовано зберігати дані та виконувати складні обчислення на сервері, розвантажуючи клієнтський пристрій. Взаємодія між клієнтом та сервером відбувається за допомогою HTTP-протоколу: клієнт ініціює запит, сервер обробляє його та повертає відповідь.

Центральним елементом клієнт-серверної взаємодії у розробленому додатку є AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) – підхід до побудови користувацьких інтерфейсів веб-застосунків, за яких веб-сторінка, не перезавантажуючись, у фоновому режимі надсилає запити на сервер і сама звітти довантажує потрібні користувачу дані. [42]. Завдяки AJAX взаємодія користувача з додатком стає плавною та безперервною, оскільки оновлюється лише та частина сторінки, яка відображає результати розрахунку, а не вся сторінка цілком. Це особливо важливо для сценарію роботи з калькулятором освітлення, де користувач може багаторазово змінювати вхідні параметри та отримувати миттєві результати.

Загальна схема роботи додатку. Послідовність дій при виконанні розрахунку можна представити у вигляді блок-схеми (див. додаток А), яка ілюструє потік даних між компонентами системи.

Процес починається з того, що користувач відкриває головну сторінку `index.php` у веб-браузері. При завантаженні сторінки виконується JavaScript-код, який ініціює AJAX-запит до скрипту `api/get_room_types.php` для заповнення випадального списку типів приміщень. Скрипт `get_room_types.php` звертається до бази даних MySQL, отримує актуальний перелік приміщень та повертає його у форматі JSON (JavaScript Object Notation), на основі якого JavaScript формує список вибору. Після заповнення форми користувач вводить розміри кімнати, характеристики світильника, обирає бажаний режим розрахунку та натискає кнопку “Розрахувати”. JavaScript перехоплює подання форми, формує структуру даних та надсилає асинхронний POST-запит до скрипту `calculate.php`.

На сервері скрипт `calculate.php` отримує дані, перевіряє їх на коректність, виконує запит до БД для отримання норми освітленості для обраного типу приміщення, здійснює розрахунок необхідної кількості світильників згідно з обраним режимом, зберігає вхідні параметри та результат у таблицю `calculations_history` для подальшого перегляду, після чого формує відповідь у вигляді JSON-об'єкта, що містить розраховану кількість, сумарну потужність, загальну вартість та інші службові дані. Цей JSON-об'єкт надсилається назад у браузер. JavaScript обробляє отриману відповідь та динамічно оновлює блок результатів на веб-сторінці, відображаючи користувачеві кількість світильників, сумарну потужність та орієнтовну вартість обладнання без перезавантаження сторінки. Користувач може змінювати вхідні параметри та повторювати розрахунки необмежену кількість разів, кожен новий розрахунок зберігається в історії. Для перегляду історії розрахунків передбачено окрему сторінку `history.php`, яка відображає всі збережені обчислення у вигляді таблиці з можливістю сортування та фільтрації.

Клієнт-серверна архітектура, інтегрована з використанням технології AJAX, демонструє значні переваги для реалізації даного проєкту. Розподіл

логіки між клієнтом і сервером забезпечує централізоване зберігання нормативних даних, що сприяє створенню єдиного джерела достовірної інформації для всіх категорій користувачів. Завдяки асинхронній взаємодії, яка виключає необхідність повторного завантаження сторінки, суттєво підвищується як ергономічність, так і ефективність роботи кінцевих користувачів із системою. Додатковою перевагою є оптимізація обсягу даних, що передаються між клієнтом і сервером, що дозволяє знизити навантаження на серверні потужності та сприяє прискоренню роботи додатку.

2.3 Проектування бази даних

База даних є ключовим компонентом розробленого веб-застосунку, оскільки саме в ній зберігаються нормативні вимоги ДСТУ EN 12464-1:2022 до освітленості різних типів приміщень, а також історія виконаних користувачами розрахунків. Правильне проектування бази даних дозволяє мінімізувати надлишковість даних, забезпечити їх цілісність та ефективність виконання запитів. Процес проектування включає логічне та фізичне проектування з використанням реляційної моделі даних.

На етапі логічного проектування визначаються сутності предметної області, їх атрибути та зв'язки між ними. На основі аналізу предметної області, яка охоплює світлотехнічні розрахунки для різних типів приміщень відповідно до ДСТУ, та функціональних вимог до веб-застосунку було виділено наступні сутності:

- таблиця `dstu_sections` зберігає загальні розділи стандарту;
- таблиця `room_groups` містить назви груп приміщень посилається на відповідний розділ через зовнішній ключ `section_id`;
- таблиця `room_types` фіксує конкретні типи приміщень та посилається на групу через зовнішній ключ `group_id`;
- таблиця `users` призначена для зберігання даних про зареєстрованих користувачів системи. Хоча в поточній версії додатку авторизація не реалізована

на рівні інтерфейсу, ця таблиця закладена для подальшого розвитку системи, зокрема для додавання функціоналу особистого кабінету та збереження проєктів користувачів;

- для зберігання історії обчислень передбачено окрему таблицю `calculations_history`, яка містить усі введені користувачем параметри, обраний режим розрахунку та отриманий результат.

Кожна сутність характеризується набором атрибутів. Сутність `dstu_sections` має атрибути: `id`, `section_code`, `name`. Сутність `room_groups` включає: `id`, `section_id`, `table_code`, `name`. Сутність `room_types` містить: `id`, `group_id`, `name`, `illuminance_norm`, `uniformity_ratio`, `max_spacing_factor`, `recommended_layout`. Сутність `user` включає: `id`, `name`, `email`, `password`, `created_at`. Сутність `calculations_history` включає: `id`, `user_id`, `room_length`, `room_width`, `room_height`, `area`, `room_type_id`, `fixture_name`, `luminous_flux`, `power`, `price`, `selected_mode`, `result_count`, `created_at`.

На основі аналізу зв'язків між сутностями було побудовано ER-діаграму (рисунок 2.1), яка відображає логічну структуру бази даних.

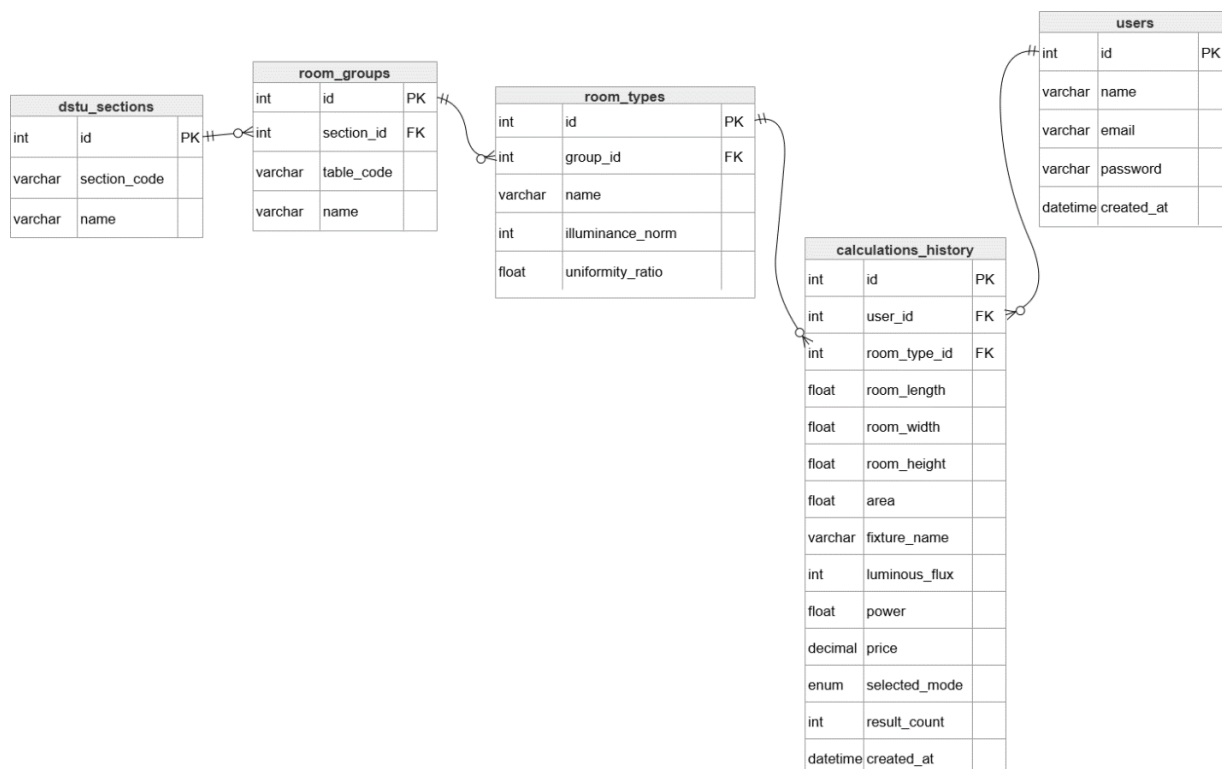


Рисунок 2.1 – ER-діаграма

Зв'язок між таблицями `dstu_sections` та `room_groups` є “один-до-багатьох”, оскільки один розділ стандарту може містити багато груп, але кожна група належить лише одному розділу. Аналогічний зв'язок між таблицями `room_groups` та `room_types` – одна група об'єднує багато типів приміщень, які належать лише до цієї групи, між `room_types` та `calculations_history` – один тип приміщення може фігурувати в багатьох розрахунках. Крім того, для зберігання історії розрахунків потрібен зв'язок з таблицею `users`, який також є “один-до-багатьох”: один користувач може виконати багато розрахунків. Така структура зв'язків, побудована за принципом каскадних зовнішніх ключів, забезпечує нормалізацію бази даних, усуваючи дублювання даних, що спрощує її підтримку та розширення.

У лістингу 2.1 наведено приклад SQL-коду для створення таблиць, що відповідають описаній логічній моделі.

Лістинг 2.1 – Код для створення таблиць в БД

```
CREATE TABLE dstu_sections (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    section_code VARCHAR(20) NOT NULL,
    name VARCHAR(200) NOT NULL);
CREATE TABLE room_groups (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    section_id INT NOT NULL,
    table_code VARCHAR(20) NOT NULL COMMENT 'наприклад: 5.37,
5.38...',
    name VARCHAR(200) NOT NULL COMMENT 'назва групи за ДСТУ',
    FOREIGN KEY (section_id) REFERENCES dstu_sections(id));
CREATE TABLE room_types (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    group_id INT NOT NULL,
    name VARCHAR(200) NOT NULL COMMENT 'назва приміщення за ДСТУ',
    illuminance_norm INT NOT NULL COMMENT 'норма освітленості, лк',
    uniformity_ratio FLOAT DEFAULT 0.6 COMMENT 'коефіцієнт
рівномірності U0 (з ДСТУ)',
    FOREIGN KEY (group_id) REFERENCES room_groups(id));
CREATE TABLE users (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    name VARCHAR(100) NOT NULL,
    email VARCHAR(100) UNIQUE NOT NULL,
    password VARCHAR(255) NOT NULL,
    created_at DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP);
CREATE TABLE calculations_history (
```

```

id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
user_id INT NULL COMMENT 'NULL – анонімний користувач',
room_length FLOAT NOT NULL,
room_width FLOAT NOT NULL,
room_height FLOAT NOT NULL,
area FLOAT NOT NULL,
room_type_id INT NOT NULL,
fixture_name VARCHAR(200) NOT NULL COMMENT 'назва світильника',
luminous_flux INT NOT NULL COMMENT 'світловий потік, лм',
power FLOAT NOT NULL COMMENT 'потужність, Вт',
price DECIMAL(10,2) NOT NULL COMMENT 'ціна, грн',
selected_mode ENUM('lux', 'uniformity') NOT NULL COMMENT 'lux –
за люксами, uniformity – за рівномірністю',
result_count INT NOT NULL COMMENT 'результат розрахунку',
created_at DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
FOREIGN KEY (user_id) REFERENCES users(id),
FOREIGN KEY (room_type_id) REFERENCES room_types(id));

```

Після створення таблиць база даних наповнюється нормативними даними згідно з ДСТУ. Наприклад, для розділу “Офіси” виконуються SQL-команди, які наведені у лістингу 2.2

Лістинг 2.2 – Заповнення таблиці

```

INSERT INTO dstu_sections (section_code, name) VALUES ('5.26',
'Офіси');
INSERT INTO room_groups (section_id, table_code, name) VALUES (1,
'5.26', 'Офісні приміщення');
INSERT INTO room_types (group_id, name, illuminance_norm,
uniformity_ratio) VALUES
(1, 'Загальний офіс', 300, 0.6),
(1, 'Кабінет керівника', 400, 0.7),
(1, 'Опенспейс', 500, 0.7)
;

```

Розроблена база даних забезпечує централізоване зберігання нормативних вимог, що дозволяє оновлювати їх без необхідності внесення змін у код додатку. Завдяки використанню зовнішніх ключів гарантовано дотримання цілісності даних на рівні СУБД, а нормалізована структура виключає можливість дублювання інформації. Такий підхід до проектування бази даних є загальноприйнятим для веб-застосунків цього типу, забезпечуючи надійне зберігання та швидкий, ефективний доступ до даних.

2.4 Алгоритми розрахунку освітлення

Основною функціональною вимогою для створеного веб-застосунку є забезпечення точного та обґрунтованого розрахунку необхідної кількості світильників, що дозволить досягти належного рівня освітленості у робочих приміщеннях. У рамках цієї роботи реалізовано два ключових режими розрахунку: визначення параметрів освітлення відповідно до нормативного рівня та розрахунок із врахуванням рівномірності розподілу світла. Основою для кожного режиму слугують вимоги стандарту ДСТУ EN 12464-1:2022, а для отримання результату використовуються різні математичні методи .

Розрахунок за нормою освітленості базується на спрощеній формулі (2.1), яка дозволяє швидко отримати результат при мінімальній кількості вхідних даних. На відміну від класичного методу коефіцієнта використання світлового потоку, у даній реалізації не використовуються окремі коефіцієнти запасу та використання, оскільки для попередніх розрахунків, для яких призначений додаток, їхній вплив не є критичним, а спрощення дозволяє зменшити кількість вхідних даних та прискорити виконання розрахунку.

$$N = \frac{(E_n \times S)}{(F_l \times \eta)} \quad (2.1)$$

В даній формулі N – кількість світильників (шт.), E_n – нормована освітленість згідно з ДСТУ, S – площа приміщення (m^2), F_l – світловий потік одного світильника (лм) – параметр, який вводить користувач, η – коефіцієнт використання світлового потоку, який у даному додатку приймається фіксованим значенням 0,6. Це значення є типовим для більшості офісних та громадських приміщень і дозволяє отримати достатньо точний результат для попередніх розрахунків [42]. Отримане значення N округлюється до найближчого більшого цілого числа, оскільки кількість світильників не може бути дробовою. Якщо результат виявляється меншим за 1, його значення автоматично приймається рівним 1. Такий підхід дозволяє визначити мінімальну

кількість світильників, необхідну для забезпечення формального дотримання норм освітленості. Це, у свою чергу, може бути корисним для попереднього розрахунку бюджету. Реалізація відповідного алгоритму мовою PHP представлена у лістингу 2.3.

Лістинг 2.3– Реалізація розрахунку за нормою освітленості

```
$utilization_factor = 0.6;
$required_flux = ($norm * $area) / $utilization_factor;
$count_lux = max(1, ceil($required_flux / $luminous_flux));
```

Розрахунок з урахуванням рівномірності освітлення ґрунтується на рекомендаціях ДСТУ EN 12464-1:2022, згідно з якими для забезпечення належної рівномірності освітлення рекомендується дотримуватися певних співвідношень між відстанню між світильниками та висотою приміщення. Низька рівномірність призводить до появи темних зон, різких перепадів яскравості, швидкої втоми очей, зниження продуктивності праці та потенційної небезпеки, особливо на виробничих майданчиках. Тому врахування цього параметра є надзвичайно важливим для створення комфортних та безпечних умов праці.

У цьому додатку для забезпечення рівномірного освітлення застосовується коефіцієнт 1,5. Це означає, що максимальна відстань між сусідніми світильниками не може перевищувати 1,5 висоти приміщення (2.2):

$$L_{max} = 1,5 \cdot H \quad (2.2)$$

де L_{max} – максимально допустима відстань між світильниками (м), H – висота приміщення (м), яку вводить користувач [43].

Алгоритм розрахунку кількості світильників для забезпечення рівномірного освітлення приміщення включає декілька послідовних етапів [43]:

Розрахунок максимально допустимої відстані між світильниками за вказаною формулою.

Визначення необхідної кількості світильників уздовж довжини приміщення. Для цього використовується формула (2.3).

$$N_{len} = \text{ceil}\left(\frac{L}{L_{max}}\right) \quad (2.3)$$

де L – довжина приміщення, а L_{max} – максимальна допустима відстань між світильниками. У випадку, якщо отримане значення менше 2, його приймають рівним 2, оскільки для досягнення рівномірного освітлення потрібна як мінімум пара світильників уздовж цієї сторони.

Аналогічним чином визначається кількість світильників уздовж ширини приміщення (2.4), враховуючи те саме мінімальне обмеження у 2 світильники.

$$N_{wid} = \text{ceil}\left(\frac{W}{L_{max}}\right) \quad (2.4)$$

Загальна кількість світильників розраховується як добуток отриманих значень (2.5).

$$N = N_{len} \cdot N_{wid} \quad (2.5)$$

Такий метод дозволяє розташувати освітлювальні прилади у вигляді рівномірної сітки, забезпечуючи відсутність затемнених зон і плавний розподіл яскравості по всій площі приміщення. Реалізація цього алгоритму мовою PHP наведена в лістингу 2.4.

Лістинг 2.4 – Реалізація розрахунку за рівномірністю

```
function calculateUniformityGrid($length, $width, $height, $spacing_factor = 1.5) {
    $max_spacing = $spacing_factor * $height;
    $rows = max(2, ceil($length / $max_spacing));
    $cols = max(2, ceil($width / $max_spacing));
    return [
        'rows' => $rows,
```

```

'cols' => $cols,
'total' => $rows * $cols,
'max_spacing' => round($max_spacing, 2)
];
}

```

Користувач вибирає потрібний режим за допомогою радіокнопок на головній сторінці додатку. Пропонуються два варіанти: “Мінімальна кількість”, який розраховує показник лише за рівнем освітленості, та “Рекомендована кількість”, що проводить розрахунок із врахуванням рівномірності освітлення. Після надсилання даних форми скрипт `calculate.php` визначає параметр `mode` і виконує відповідний алгоритм. У випадку вибору режиму `lux` результат розраховується за відповідною формулою, виходячи лише зі значення освітленості. Якщо активується режим `uniformity`, алгоритм розрахунку враховує рівномірність освітлення із застосуванням коефіцієнта 1,5. У лістингу 2.5 представлена детальна логіка виконання вибору режиму розрахунку.

Лістинг 2.5 – Логіка вибору режиму розрахунку

```

if ($mode == 'lux') {
    $result_count = $count_lux;
    $mode_name = 'Мінімальна кількість (за нормою)';
    $grid_info = null;
} else {
    $grid_info = calculateUniformityGrid($length, $width, $height,
1.5);
    $result_count = $grid_info['total'];
    $mode_name = 'Рекомендована кількість (з рівномірністю)';
}

```

Розроблені алгоритми забезпечують високу точність розрахунків при мінімальній кількості вхідних даних, що робить додаток зручним для використання фахівцями різного рівня кваліфікації. Завдяки реалізації двох різних режимів користувач може обрати найбільш відповідний варіант залежно від конкретних потреб, від простого підрахунку мінімальної кількості світильників для попередньої оцінки бюджету до більш точного розрахунку з урахуванням рівномірності для забезпечення комфортних умов праці.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі виконано проектування та моделювання програмного забезпечення, яке планується створити. Проведено аналіз сучасних веб-технологій, на основі якого обрано оптимальний технічний стек: PHP, MySQL, HTML/CSS/JavaScript, Bootstrap і jQuery. Такий вибір забезпечує належну продуктивність та зручність у розробці. Було спроектовано архітектуру веб-застосунку з використанням клієнт-серверної моделі та технології AJAX, що дозволяє виконувати розрахунки без необхідності перезавантаження сторінки.

Таким чином, у процесі проектування було створено детальну технічну модель додатку, яка повністю готова до його програмної реалізації.

РОЗДІЛ.3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Програмна реалізація серверної частини

Серверна частина додатку реалізована мовою PHP. Вона складається з набору взаємопов'язаних скриптів, кожен з яких виконує певну функцію.

Файл `config.php` забезпечує підключення до бази даних MySQL. Він використовує розширення PDO. Конфігураційні параметри винесено в окремі змінні, що дозволяє легко змінювати їх при перенесенні додатку на інший хостинг.

Файл `api/get_room_types.php` обробляє AJAX-запити для отримання списку типів приміщень з БД залежно від обраної категорії. Він приймає параметр `group_id`, формує параметризований SQL-запит до таблиці `room_types` та повертає результат у форматі JSON. Такий підхід забезпечує динамічне завантаження даних без перезавантаження сторінки.

Файл `calculate.php` є основним обробником форми розрахунку. Він отримує дані від клієнта (розміри приміщення, характеристики світильника, обраний режим), виконує їх валідацію, звертається до БД для отримання норми освітленості для обраного типу приміщення, здійснює необхідні математичні обчислення за одним з двох режимів, зберігає результат в таблицю `calculations_history` та повертає користувачеві відповідь у форматі JSON. Обчислення виконуються за формулами, описаними в підрозділі 2.4.

Файл `history.php` генерує HTML-сторінку з таблицею всіх попередніх розрахунків, яка відображається в браузері користувача. Він виконує SQL-запит до таблиці `calculations_history` з об'єднанням з таблицею `room_types` для отримання назви приміщення та його норми освітленості. Отримані дані відображаються у вигляді адаптивної таблиці з інформацією про дату розрахунку, параметри приміщення, характеристики світильника, обраний режим та отриманий результат.

Уся серверна частина розроблена з урахуванням принципів модульності та повторного використання коду. Спільні функції винесено в окремі файли, що спрощує підтримку та модифікацію додатку. Для забезпечення безпеки всі запити до бази даних виконуються через параметризовані запити, що запобігає SQL-ін'єкціям, а вхідні дані проходять валідацію перед використанням у обчисленнях [44].

3.2 Програмна реалізація клієнтської частини

Клієнтська частина веб-застосунку виконує ключову роль у взаємодії з користувачем, забезпечує відображення даних і здійснює обмін інформацією з сервером. Вона створена із застосуванням сучасних веб-технологій, таких як HTML5 для структуризації контенту, CSS3 для оформлення інтерфейсу та JavaScript для забезпечення інтерактивності сторінок. Завдяки такому підходу до розробки забезпечується інтуїтивно зрозумілий та швидкодіючий інтерфейс, який мінімізує затримки під час роботи з додатком.

Головна сторінка додатку побудована із двох основних секцій: в лівій колонці розміщено форму введення параметрів для розрахунків, а права слугує зоною для показу результатів. Такий дизайн підвищує зручність роботи, адже користувач може одночасно переглядати вхідні дані й результати. Елементи форми згруповані за логічними категоріями: параметри приміщення, характеристики світильника і вибір режиму розрахунку. Для оформлення застосовано Bootstrap 5, який забезпечує адаптивний дизайн із сучасною естетикою з самого початку, а також кастомізований файл стилів style.css. Цей додатковий файл визначає унікальну кольорову гаму, додає візуальні ефекти, такі як округлення елементів і анімації при наведенні миші, що робить інтерфейс більш привабливим і зручним.

Функціонал дашборду забезпечено завдяки JavaScript із використанням бібліотеки jQuery. На етапі завантаження сторінки клієнт ініціює запит на сервер, щоб отримати список категорій типів приміщень для заповнення першого

випадаючого списку. Якщо користувач обирає певну категорію, активується подія типу `change`, яка викликає й асинхронно здійснює AJAX-запит до скрипту `api/get_room_types.php` із передачею параметрів `group_id`. Отримавши відповідь у форматі JSON, код відразу оновлює другий випадаючий список. Завдяки цьому механізму користувач легко може вибирати параметри серед більш ніж 40 типів приміщень у стандарті ДСТУ, які згруповано за категоріями.

Після заповнення форми і натискання кнопки “Розрахувати” JavaScript перехоплює відправку форми за допомогою функції `preventDefault()`, структурує введені дані в об'єкт і надсилає їх на сервер через AJAX-запит методом POST. Поки сервер обробляє запит, користувачу демонструється анімація завантаження, що попереджає про виконання операції. Сервер повертає JSON-відповідь із результатами розрахунку, які JavaScript використовує для створення й динамічного оновлення блоків з інформацією про площу приміщення, його тип, норму освітленості, кількість необхідних світильників, загальну потужність та вартість. У разі вибору режиму з розрахунком рівномірності додатково формується схема розташування світильників із вказанням їх кількості в рядках і колонках, а також максимально допустимі відстані між ними.

Впровадження AJAX-технологій забезпечує швидке оновлення сторінки завдяки частковому перезавантаженню контенту замість повного і можливість взаємодії користувача із формою навіть під час очікування відповіді сервера.

3.3 Інтерфейс користувача та зручність використання

Інтерфейс користувача відіграє ключову роль у програмному продукті, адже саме він забезпечує взаємодію між користувачем і системою. Під час проектування інтерфейсу веб-застосунку були враховані потреби різних груп користувачів. Завдяки цьому вдалося створити зручний і зрозумілий інструмент, який дозволяє швидко та легко виконувати розрахунки освітлення.

Головна сторінка додатка складається з двох основних колонок (див. рис. 3.1). У лівій розташована форма для введення параметрів приміщення та

світильника, а права відведена для відображення результатів розрахунків. Такий підхід забезпечує користувачеві зручність, дозволяючи одночасно переглядати вхідні дані та отримані результати, що особливо важливо при частих змінах налаштувань.

Рисунок 3.1 – Головна сторінка додатку

Для дизайну додатка обрано гармонійну сіро-жовту кольорову палітру. Темно-сірі відтінки використовуються в оформленні заголовків карток і навігаційної панелі, додаючи строгість і чіткість. Жовтий акцент застосовано до головної кнопки дії “Розрахувати”, яка ефективно привертає увагу користувача до ключової функції. У всьому додатку використовується шрифт Montserrat, що забезпечує комфортне сприйняття тексту та високу читабельність.

Форма умовно поділена на три секції (див рис. 3.2): “Параметри приміщення”, “Дані світильника” та “Режим розрахунку”. При виборі категорії приміщення другий випадаючий список автоматично заповнюється відповідними значеннями, отриманими з бази даних через AJAX-запит. Це дозволяє користувачеві бачити лише актуальні типи приміщень для обраної категорії.

Параметри приміщення

Категорія приміщення
-- оберіть категорію --

Тип приміщення
-- спочатку оберіть категорію --

Довжина (м) Ширина (м) Висота (м)

- 5,00 + - 5,00 + - 3,00 +

Дані світильника

Назва моделі
LED Panel 36W

Світловий потік (лм) Потужність (Вт)

- 3200 + - 36 +

Ціна (грн)

- 1200 +

Режим розрахунку

Розрахунок за люксами
 Розрахунок за рівномірністю

Розрахувати

Рисунок 3.2– Форма заповнення даних

Особливістю додатку є застосування інтерактивних полів введення (див. рис. 3.3), кнопки регулювання працюють за принципом збільшення або зменшення.

Довжина (м) Ширина (м) Висота (м)

- 5,20 + - 5,00 + - 3,00 +

Рисунок 3.3– Інтерактивні поля введення даних

Користувач має можливість змінювати числові показники трьома способами:

- вводячи необхідне число за допомогою клавіатури,

- натискаючи на кнопки “+” чи “-”,
- використовувати прокрутку коліщата миші.

Така функціональність сприяє швидкому, інтуїтивно зрозумілому та зручному процесу внесення даних, підвищуючи ефективність взаємодії користувача з додатком.

Після натискання кнопки “Розрахувати” результати з’являються у правій колонці (див. рис. 3.4) у форматі структурованого тексту без зайвих кольорових елементів. Вся інформація представлена у вигляді окремих рядків, де назви параметрів чітко виділені напівжирним шрифтом. Головний результат, тобто розрахована кількість світильників, подається великим шрифтом з темно-сірим кольором, щоб користувач міг легко виділити головну інформацію. Після кількості світильників відображаються відомості про сумарну потужність системи та загальну вартість обладнання.

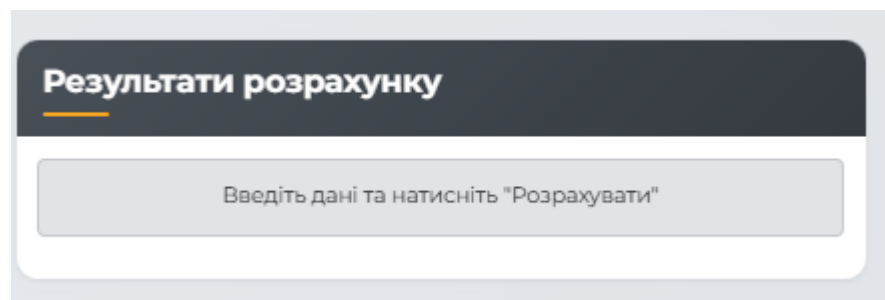


Рисунок 3.4 – Блок результату

На сторінці `history.php` представлена таблиця (див. рис. 3.5), яка відображає всі попередні розрахунки. Таблиця оформлена з чіткими лініями, що відокремлюють рядки та колонки, а заголовки виконані темно-сірим кольором із білим текстом для зручності сприйняття. Під час наведення курсору на будь-який рядок він змінює колір фону на світло-жовтий, що покращує його читабельність. Кількість світильників у таблиці виділена жирним шрифтом і жовтим кольором, щоб полегшити її швидкий візуальний пошук.

Історія розрахунків
Всі збережені розрахунки освітлення

ДАТА	ПРИМІЩЕННЯ	РОЗМІРИ (М)	ПЛОЩА (М²)	СВІТИЛЬНИК	ПОТІК (ЛМ)	РЕЖИМ	КІЛЬКІСТЬ	ПОТУЖНІСТЬ (Вт)	ЦІНА (грн)
16.05.2026 16:45	Проходи з людьми (норма: 150 лк)	7,5 × 10 × 3	75	rayfor	6400	з РІВНОМІРНІСТЮ	6 шт	240 Вт	9 314 грн
16.05.2026 16:45	Проходи з людьми (норма: 150 лк)	7,5 × 10 × 3	75	rayfor	6400	з РІВНОМІРНІСТЮ	6 шт	240 Вт	9 314 грн
16.05.2026 16:29	Кімнати практики та лабораторії (норма: 500 лк)	5 × 5 × 2,6	25	LED панель ACURA VIOLUX	5040	ЗА НОРМОЮ	5 шт	170 Вт	4 584 грн

Рисунок 3.5 – Таблиця з історією розрахунків

Створений інтерфейс характеризується інтуїтивною зрозумілістю, зручністю у використанні та адаптивністю, що робить його доступним і комфортним для різних груп користувачів.

3.4 Тестування роботи веб-застосунку

Тестування програмного забезпечення є важливою складовою процесу розробки, що забезпечує виявлення помилок, перевірку відповідності функціональним вимогам та оцінку загальної якості системи. Під час створення веб-застосунку для розрахунку освітлення було проведено тестування, яке охоплювало аналіз роботи серверної та клієнтської частин, перевірку коректності алгоритмів розрахунку, а також оцінку зручності та інтуїтивності користувацького інтерфейсу.

3.4.1 Методика тестування

Тестування веб-застосунку здійснювалося за методом “чорної скриньки”, при якому перевіряється робота програми без знання її внутрішньої побудови та схеми роботи [45]. Такий підхід спрямований на оцінку відповідності фактичної поведінки системи очікуваним результатам при заданих вхідних даних. Процес тестування включав кілька ключових етапів:

- Перевірялось, як система реагує на некоректні або неповні дані, а також наскільки зрозуміло представлені повідомлення про помилки.

- Аналіз точності розрахунків за показником освітленості проводився шляхом порівняння результатів додатку із ручними обчисленнями, виконаними за формулою методу коефіцієнта використання.
- Здійснювалась оцінка коректності формування сітки світильників при різних розмірах приміщень та коефіцієнтах.
- Перевірялось, чи дані належним чином записуються у базу даних та відображаються у розділі історії.
- Проводилась оцінка доступності елементів форми та зрозумілість для користувача, що саме необхідно вводити.

Для тестування було взято два типові приміщення такі як складське з невисокими вимогами до освітлення та навчальну аудиторію, де потрібна більша освітленість. Для кожного тестового прикладу виконувалися розрахунки у двох режимах при однакових початкових даних, щоб забезпечити коректність порівняння отриманих результатів.

3.4.2 Тестовий приклад 1: складське приміщення

Спочатку було перевірено перший режим розрахунку тільки за нормою освітлення. Для перевірки правильного функціонування розробленого веб-застосунку було вибрано складське приміщення для розрахунку. Це ідеальний варіант для тестування, адже для таких приміщень характерні особливі вимоги щодо рівномірного розподілу світла та важливості економічної ефективності.

Для тестування обрано вологозахисний лінійний світильник RAYFOR WL01 [46], який призначений для промислових, складських, паркінгових та виробничих приміщень. Вибір обґрунтовується його технічними характеристиками: високий ступінь захисту IP66, ударостійкість IK08, що є критичним для складських умов експлуатації.

Вхідні дані для розрахунку які були введені у форму:

- Тип приміщення: склад;
- розміри приміщення: довжина – 7.5 м, ширина – 10 м, висота – 3 м;

- світильник: лінійний світильник RAYFOR WL01, з потужністю 40 Вт і світловим потоком 6400 лм, кут;
- ціна світильника: 1552,32 грн;
- для розрахунку було обрано режим “Мінімальна кількість (за нормою)”.

Після введення початкових даних, додаток автоматично провів розрахунок, результати якого зображені на рисунку 3.6. Згідно з отриманими даними, площа приміщення становить 75 м², його тип визначено як “Проходи з людьми”, а відповідна норма освітленості – 150 лк. Для забезпечення цього рівня освітлення розраховано, що мінімальна кількість необхідних світильників складає 3 одиниці. Сумарна потужність освітлювальної системи дорівнює 120 Вт. Орієнтовна загальна вартість обладнання для реалізації освітлення складе 4659 грн.

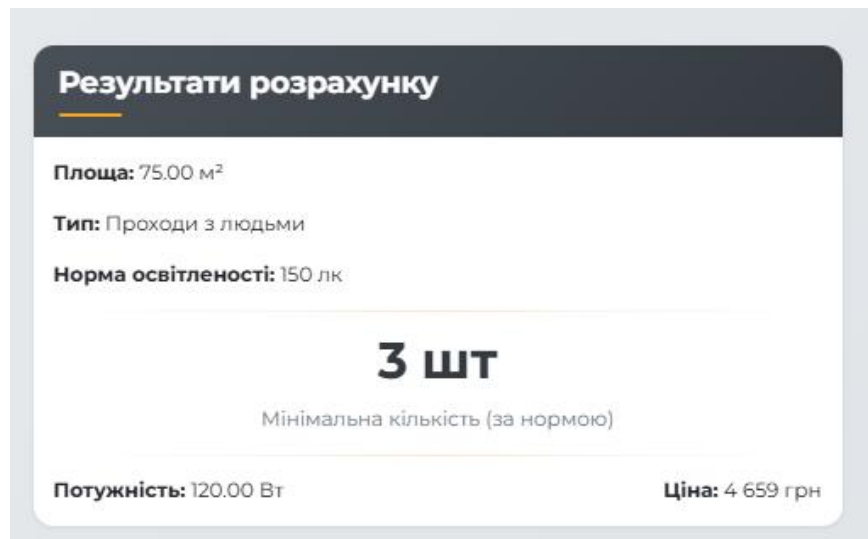


Рисунок 3.6 – Результат розрахунку освітлення для складського приміщення

Для верифікації правильності роботи алгоритму було вручну розраховано освітлення за формулою для забезпечення норми:

$$\frac{150 * 75}{6400 * 0.6} = 2,93$$

Кількість світильників завжди повинна бути цілою, тому отримане значення округлюється до найближчого більшого цілого числа – 3 одиниці. Результат ручного підрахунку відповідає тому, що був отриманий автоматично, що підтверджує правильність роботи алгоритму програми.

Додаток коректно виконує розрахунок кількості світильників за нормою освітленості на прикладі складського приміщення

3.4.3 Тестовий приклад 2: навчальна аудиторія

Подібним принципом було протестовано другий режим розрахунку, який окрім норми люксів враховує ще й рівномірність освітленням в приміщенні. Для перевірки було вибрано освітлення для навчальної аудиторії, де вимоги до освітленості є більш жорсткими порівняно зі складськими приміщеннями.

Для тестування обрано світлодіодну панель ACURA VIOLUX [47], яка призначена для освітлення офісних, навчальних та адміністративних приміщень. Вибір обґрунтовується її технічними характеристиками: потужність 48 Вт, світловий потік 5040 лм, що забезпечує високу світловіддачу. Панель має рівномірне розсіювання світла завдяки матовому розсіювачу, що є важливим для створення комфортних умов для зорової роботи.

Вхідні дані для даного розрахунку:

- Тип приміщення: Кімнати практики та лабораторії;
- розміри приміщення: довжина – 5 м, ширина – 5 м, висота – 2.6 м;
- світильник: LED панель ACURA VIOLUX, з потужністю 48 Вт і світловим потоком 5040 лм;
- ціна світильника: 916.85грн;
- для розрахунку було обрано режим “Рекомендована кількість (з рівномірністю)”.

Результат обчислення зображено на рисунку 3.7. Згідно з даними, площа приміщення становить 25 м², тип приміщення визначено як “Кімнати практики та лабораторії”, а рекомендована норма освітленості сягає 500 лк. Для

забезпечення необхідного рівня освітлення додаток запропонував встановити 4 світильники із загальною потужністю системи 192 Вт. Окрім того, розраховано загальну вартість обладнання, яка склала 3667 грн.

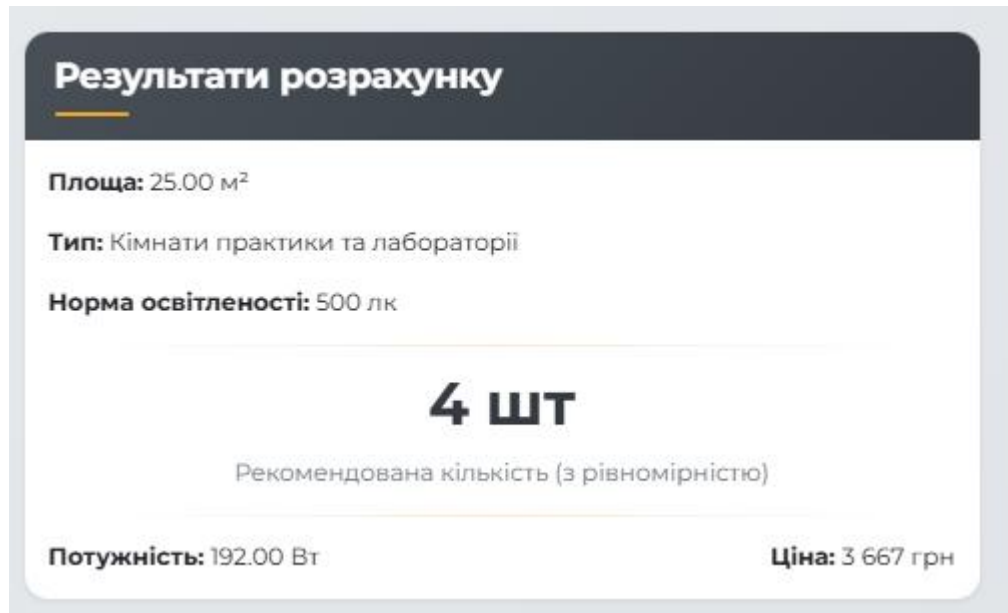


Рисунок 3.7– Результат обчислення освітлення для аудиторії

Для підтвердження коректності роботи алгоритму додатку було виконано ручний розрахунок з урахуванням рівномірності. За відповідними формулами спочатку було знайдено максимальну допустима відстань між світильниками:

$$L_{max} = 1,5 \cdot 2,6 = 3,9$$

Знайшовши відстань між світильниками було знайдено кількість світильників по довжині:

$$N_{len} = \max(2, \text{ceil}(5 / 3,9)) = \max(2, 2) = 2$$

і кількість світильників по ширині:

$$N_{wid} = \max(2, \text{ceil}(5 / 3,9)) = \max(2, 2) = 2$$

За останньою формулою було знайдено загальну кількість світильників:

$$N = N_{len} \cdot N_{wid} = 2 \times 2 = 4$$

Отриманий результат автоматично підтверджується шляхом ручного розрахунку. Відсутність будь-якої абсолютної похибки свідчить про правильну реалізацію алгоритму для обчислення рівномірності.

3.4.4 Аналіз отриманих результатів

На основі проведених тестових розрахунків для складського приміщення і навчальної аудиторії було здійснено порівняння між результатами, отриманими автоматично через розроблений веб-застосунок, та даними, обчисленими вручну за допомогою формул. Проведений аналіз дозволив оцінити точність функціонування алгоритмів додатка, дослідити ефективність різних режимів розрахунку й окреслити можливості практичного застосування отриманих результатів. Для повного аналізу було проведено додаткові розрахунки з тими самими приміщеннями і світильниками, але з різними режимами.

Зведені результати порівняння для всіх тестових випадків порівняння наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Аналіз результатів

Приміщення (розміри, висота)	Режим розрахунку	Ручний розрахунок (після округлення)	Результат дodatку	Абсолютна похибка	Відносна похибка
Навчальна аудиторія (5×5×2,6 м)	За люксами	5 шт	5 шт	0 шт	0%
Навчальна аудиторія (5×5×2,6 м)	з рівномірністю	4 шт	4 шт	0 шт	0%
Складське приміщення (10×7,5×5 м)	За люксами	3 шт	3 шт	0 шт	0%
Складське приміщення (10×7,5×5 м)	з рівномірністю	6 шт	6 шт	0 шт	0%

Як видно з таблиці 3.1, у всіх тестових випадках абсолютна похибка відсутня, а відносна похибка становить 0%. Це означає, що результати, отримані автоматично за допомогою розробленого веб-застосунок, повністю збігаються з результатами ручного розрахунку за формулами.

Отже, розроблений веб-застосунок коректно реалізує алгоритми розрахунку освітлення. Відсутність похибок свідчить про правильність програмної реалізації математичних формул та логіки вибору режимів.

3.5 Перспектива подальшого розвитку

Створений веб-застосунок для автоматизованого розрахунку освітлення робочих приміщень являє собою повнофункціональний програмний продукт, який успішно виконує всі покладені на нього завдання. Втім, враховуючи динамічний розвиток сучасних технологій та зростаючі потреби користувачів, є кілька перспективних напрямків для подальшого вдосконалення системи.

В програмі можна розвивати функціональні можливості, такі як врахування кута світлового променя світильника, який впливає на площу покриття та необхідну кількість обладнання. Також можна додати коефіцієнти відбиття стін, стелі та підлоги для підвищення точності розрахунків. Крім того, можна реалізувати можливість порівняння кількох варіантів світильників одночасно з відображенням порівняльної таблиці.

Один із ключових аспектів оптимізації – розробка графічного зображення схеми розташування світильників у приміщенні. Виходячи з розрахованої кількості рядів і стовпців, можливо створити базовий 2D-план приміщення з відповідним позначенням позицій для світильників. Для реалізації цієї задачі доцільно залучити такі інструменти, як бібліотека Canvas API або технологія SVG.

Для того щоб зробити додаток ще легшим і швидшому використанні, як варіант можна додати можливість імпорту даних з електронних таблиць

дозволить користувачам завантажувати власні каталоги світильників з цінами та характеристиками.

Окремим напрямком може стати створення нативної мобільної версії у вигляді прогресивного веб-застосунку (PWA). Це дозволить користувачам встановити додаток на телефон, працювати з ним офлайн та отримувати більш швидкий доступ до функціоналу.

Створений веб-застосунок має значні перспективи для подальшого вдосконалення, що дозволить не лише розширити його функціонал, а й підвищити якість та точність виконуваних розрахунків, а також залучити ширший спектр користувачів. Кожен із зазначених напрямів може бути реалізований як самостійний етап наступних етапів розвитку.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі виконано завдання, спрямовані на практичну реалізацію, тестування та визначення перспектив подальшого розвитку створеного програмного забезпечення. Інтерфейс веб-застосунку був спроектований із урахуванням зручності користувача.

Тестування інструменту здійснювалося на прикладі двох сценаріїв: складського приміщення та навчальної аудиторії. Результати тестування підтвердили коректність роботи алгоритмів та їх відповідність вимогам чинних стандартів і нормативів.

Також були окреслені напрями подальшого розвитку проєкту, серед яких: врахування кута світлового променя світильника, додавання коефіцієнтів відбиття стін, стелі та підлоги, розробка графічної схеми розташування світильників, імпорт даних з електронних таблиць, створення мобільної версії додатку для більшої зручності.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи, що забезпечують рішення питань електробезпеки

Електробезпека – система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, статичної електрики і електромагнітного поля [48]. Електробезпека відіграє важливу роль у системі охорони праці при роботі з комп'ютерною технікою та електрообладнанням. Вона охоплює комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист людей від впливу електричного струму, електричних дуг, електромагнітних полів та статичної електрики.

Законодавство України визначає низку нормативно-правових актів, що регламентують вимоги до електробезпеки. Основними з них є “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів” (НПАОП 40.1-1.21-98), “Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів” (ПТЕЕС) та “Правила улаштування електроустановок” (ПУЕ) [49]. Ці документи визначають вимоги до улаштування електромереж, заземлення, захисту від короткого замикання та організації безпечної експлуатації електрообладнання

Основними причинами електротравматизму є недостатня навченість персоналу, неправильна експлуатація обладнання, торкання неізольованих струмопровідних частин, відсутність належного контролю, обрив заземлюючого провідника, несвоєчасні перевірки ізоляції. Тому система заходів з електробезпеки включає технічні та організаційні складові.

Технічні заходи забезпечують безпосередній захист від ураження електричним струмом через конструктивні особливості електрообладнання та електромереж.

Особливу увагу необхідно звернути на вимоги щодо організації електромережі для обслуговування комп'ютерної техніки. Лінії

електропостачання, призначені для живлення комп'ютерів та периферійних пристроїв, повинні бути сконструйовані як окрема групова трипровідна мережа [50]. Це передбачає прокладання трьох типів провідників: фазового, нульового робочого та нульового захисного. Нульовий захисний провідник призначений для створення кола з малим опором для струму короткого замикання, достатнього для спрацювання захисту та швидкого відключення пошкодженої установки від мережі живлення [51]. Використання нульового робочого провідника в якості нульового захисного суворо забороняється. Крім того, стандартами безпеки не дозволяється підключення нульового робочого та нульового захисного провідників до одного контактного затискача на щиті електромережі. Під час монтажу та експлуатації ліній електромереж необхідно виключити можливість виникнення електричних загорянь, зумовлених короткими замиканнями чи перевантаженням проводів. Рекомендується мінімізувати використання проводів із легкозаймистою ізоляцією, надаючи перевагу матеріалам із негорючими властивостями, якщо це можливо. Комп'ютерна техніка повинна підключатись до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення [52]. Такі розетки мають бути оснащені спеціальними контактами для під'єднання нульового захисного провідника, окрім контактів фазового та нульового робочого. Підключення комп'ютерів до звичайних двопровідних електромереж категорично заборонено.

Організаційні заходи включають призначення відповідальних за електрогосподарство, проведення інструктажів з електробезпеки, а також навчання та перевірку знань працівників [53]. Працівники, які не належать до електротехнічної категорії, вважаються неелектротехнічним персоналом і повинні пройти відповідний інструктаж із присвоєнням I групи з електробезпеки. Головною вимогою для них є усвідомлення небезпеки ураження електрострумом та знання правил першої допомоги у разі нещасного випадку.

Дотримання всіх перелічених технічних та організаційних заходів суттєво знижує ризик ураження електрострумом під час роботи з комп'ютерною технікою.

4.2 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

Освітлення виробничих приміщень відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні безпеки праці та підвищенні її ефективності. Неналежний рівень освітлення, як недостатній, так і надмірний, може знижувати активність центральної нервової системи, що, у свою чергу, пригнічує життєві процеси.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення поділяється на природне, штучне та змішане [54]. Природне освітлення створюється сонячними променями та є найбільш сприятливим для людини. Штучне освітлення створюється електричними джерелами світла і може бути загальним або комбінованим. Змішане освітлення застосовується, коли природного освітлення недостатньо, і воно доповнюється штучним

Згідно з функціональним призначенням, штучне освітлення поділяється на кілька категорій: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне та чергове [54]. Робоче освітлення є обов'язковим елементом для будь-яких виробничих приміщень, забезпечуючи оптимальні умови для виконання трудових процесів. Аварійне освітлення передбачається в ситуаціях раптового припинення роботи основного освітлення та забезпечує можливість продовження діяльності в надзвичайних умовах. Евакуаційне освітлення виконує функцію гарантування безпечного виходу людей із приміщень у разі необхідності евакуації.

Раціональне виробниче освітлення повинно відповідати наступним основним вимогам [54]:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;

- забезпечувати достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору;
- не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней;
- забезпечувати достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів;
- бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Дотримання вимог та норм виробничого освітлення забезпечує сприятливі умови для зорової роботи, підвищує продуктивність праці, знижує втому та сприяє запобіганню нещасним випадкам на виробництві

4.3 Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі проведено аналіз аспектів безпеки життєдіяльності та охорони праці під час роботи з комп'ютерною технікою. Було розглянуто технічні й організаційні заходи електробезпеки, що дозволило сформулювати перелік вимог для безпечної експлуатації розробленого додатка. Окрему увагу приділено вимогам до виробничого освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, його типам і функціональному призначенню. Також визначено нормативні значення рівня освітленості для різних видів зорової діяльності. Проведений аналіз засвідчує, що створений додаток, який враховує зазначені норми для виконання розрахунків, сприяє забезпеченню безпечних умов праці та допомагає у запобіганні нещасним випадкам на робочому місці.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі для здобуття освітнього ступеня “Бакалавр” проведено дослідження та розроблено веб-застосунок для автоматизованого розрахунку освітлення робочих приміщень із дотриманням вимог нормативних документів ДСТУ.

У першому розділі роботи виконано аналіз нормативної бази, яка регламентує вимоги до освітлення робочих приміщень. Зокрема, розглянуто ДСТУ EN 12464-1:2022, європейський стандарт EN 12464-1 та міжнародний стандарт ISO 8995-1. Виділено ключові параметри освітлення. Проаналізовано цільову аудиторію програмного забезпечення для розрахунку освітлення, що охоплює інженерів-проектувальників, дизайнерів інтер’єру, будівельників і для людей яким потрібно швидко розрахувати освітлення без допомоги спеціаліста. Також визначено переваги й недоліки існуючих програмних рішень Videx, Brille. Виявлено, що значна частина доступних калькуляторів не враховують аспектів рівномірності освітлення та не пропонують достатньо гнучких способів підбору параметрів. Це обґрунтувало потребу у створенні веб-застосунку, який би поєднував швидкість роботи онлайн-калькуляторів із точністю нормативних розрахунків за ДСТУ та можливістю реалізації різноманітних оптимізаційних стратегій.

Другий розділ присвячений аналізу сучасних веб-технологій та обґрунтуванню вибору технічного стеку для реалізації додатку. Вибрана структура дозволяє забезпечити динамічний обмін інформацією без перезавантаження сторінки, роблячи взаємодію з користувачем комфортною. Складено структуру бази даних із п’яти основних таблиць, дозволяючи зберігати нормативні значення та забезпечує можливість подальшого розширення. Крім того, розроблено алгоритми виконання розрахунків для двох режимів: за заданою освітленістю, рекомендованою рівномірністю та максимальною рівномірністю. Алгоритми відповідають вимогам ДСТУ EN 12464-1:2022

У третьому розділі роботи розроблено веб-застосунок, що включає серверну частину та клієнтську частину з використанням. Забезпечено динамічне завантаження списків типів приміщень, валідацію вхідних даних та асинхронну відправку форми. Запропоновано зручний інтерфейс користувача з випадючими списками для вибору категорії та типу приміщення, полями для введення параметрів світильника та вибором режиму розрахунку. Спроектовано сторінку історії розрахунків для збереження та перегляду попередніх результатів. Кожен виконаний розрахунок автоматично зберігається в базі даних із зазначенням дати, вхідних параметрів, обраного режиму та отриманого результату. Протестовано роботу додатку на двох тестових прикладах: складське приміщення та навчальна аудиторія. Тестування підтвердило коректність роботи алгоритмів, результати розрахунків відповідають нормативним вимогам ДСТУ, а різниця між режимами є логічно обґрунтованою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. LED-сторі. Освітлення виробничих приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://led-story.ua/osvitlennja-virobnichih-primischen/>
2. Електрик. Освітлення у виробничих приміщеннях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elektryk.if.ua/statti/Osvitlennya-u-vyrobnychykh-prymishchennyakh.html>
3. Lena Lighting. Unified Glare Assessment Index (UGR) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lenalighting.com/company/knowledge-base/2258-unified-glare-assessment-index-ugr>
4. Feron. Індекс кольоропередачі CRI: чому він важливий? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://feron.ua/ua/stati-70/%D1%96ndeks-koloroperedach%D1%96-cri-chomu-v%D1%96n-vazhlivij/>
5. Вікіпедія. Колірна температура [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Колірна_температура
6. Customize Lighting. How to calculate uniformity of lighting [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.customizelighting.com/uk/how-to-calculate-uniformity-of-lighting/>
7. Будстандарт. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71838
8. Єргономіка в будівництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://srd.pgasa.dp.ua:8080/bitstream/123456789/14285/1/Ергономіка%20в%20буді_вництві_2022.pdf
9. Шпак О. В. Методика розрахунку показника дискомфорту UGR для світлодіодних освітлювальних установок // Світлотехніка та електроенергетика. – 2022. – № 3. – С. 12–19.

10. Ємець С. В., Коваль В. М. Вплив спектрального складу штучного світла на мелатоніновий профіль людини // Український журнал медицини, біології та спорту. – 2021. – № 4. – С. 45–51.
11. Електронний уряд. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074791651063890960?doc_type=2
12. Електронний уряд. ДБН В.2.5-28:2018 Зміна №1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192362160978134152?doc_type=2
13. Електронний уряд. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних факторів. Інженерний розрахунок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2
14. Науковий вісник НУПП. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/uk/article/view/1847>
15. Lumenloop. EN 12464-1 Explained: Lighting Standards for Indoor Workplaces [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lumenloop.co.uk/en-12464-1-explained-lighting-standards-for-indoor-workplaces/>
16. Riley K. Lighting standards and rising energy costs: is change needed? [Електронний ресурс] / Cundall. – 2022. – Режим доступу: <https://www.cundall.com/zh/ideas/blog/lighting-standards-and-rising-energy-costs-is-change-needed>
17. ISO. ISO 8995-1:2002 Lighting of work places – Part 1: Indoor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/28857.html>
18. Trilux. International Standard [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.trilux.com/en/lighting-practice/indoor-lighting/quality-criteria-of-lighting/guidelines/international-standard/>
19. Standards.ie. ISO 8995-1:2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://shop.standards.ie/en-ie/standards/iso-8995-1-2002-593509_saig_iso_iso_1359532/

20. Вікіпедія. Світлотехніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Світлотехніка>
21. LichtRechner.de. LED-Lichtplanungssoftware – Professioneller Vergleich 2026 [Електронний ресурс]. – 2026. – Режим доступу: <https://www.lightrechner.de/wissen/led-lichtplanung-software>
22. Martins. Світлотехніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.martins.com.ua/ua>
23. Можаровська Т. Курс зі світлодизайну для інтер'єрних дизайнерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tmlight.net/>
24. SSB Light. Світлодіодні світильники, розрахунок освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ssb-light.com.ua/uk/>
25. Навчальний центр «Успіх». Курс Світлодизайн в програмі Dialux [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uspeh.ua/kursy/kursy-3d-grafiki-i-animacii/svetodizajn-dialux.html>
26. Videx. Калькулятор розрахунку освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://videx.ua/calculator_lighting
27. Вікіпедія. Прив'язка до постачальника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Прив%27язка_до_постачальника
28. Brille. Калькулятор розрахунку освітленості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://brille.ua/calc/>
29. Iampm.club. Технології для розробки сайту: що це, які найпопулярніші та як вибрати [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://iampm.club/ua/blog/tehnologiyi-dlya-rozrobki-sajtu-shho-cze-yaki-najpopulyarnishi-ta-yak-vibrati/>
30. Secl.com.ua. 10 порад, як обрати найкращий стек технологій для розробки веб-додатків [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://secl.com.ua/tips-to-choose-tech-stack-for-web-app-development/>
31. NT.UA. Яку мову обрати новачку для старту кар'єри в ІТ у 2024 [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://nt.ua/blog/what-programming-language-should-a-beginner-choose-to-start-a-career-in-it-in-2024>

32. Наум О. М., Карпин Д. С., Карпин А. В. Вебтехнології. Робота з базою даних. – 2025.
33. Електронний архів ТНТУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/15977>
34. Goit.global. PHP або Python: що вибрати і в чому між ними різниця [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://goit.global/ua/articles/php-abo-python-shcho-vybraty-i-v-chomu-mizh-nymy-riznytsia/>
35. Боднарчук І. О., та ін. Порівняння мов програмування Julia та Python для вирішення наукових і математичних задач // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2025. – С. 180–181.
36. Розробка веб-застосунків на PHP та MySQL. – Київ : Академія ІТ, 2023. – 280 с.
37. Крамар В. Огляд web-фреймворків для мови PHP [Електронний ресурс] / Крамар В. // Матеріали II Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 23-24 квітня 2009 року. – Тернопіль : ТДТУ, 2009. – Т. 1. – С. 58. – Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/14511>
38. Bin Uzayr S. Mastering jQuery: A Beginner's Guide. – CRC Press, 2023.
39. Вікіпедія. Apache HTTP Server [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Apache_HTTP_Server
40. Стадник П. О., Вовк О. В. Роль використання інформаційної архітектури при проектуванні веб-сайту. – 2022.
41. Пасічник С., Кунанець Н. Особливості формування front-end технологій у хмарних середовищах: клієнт–серверна архітектура та часове моделювання. – 2025.
42. Вікіпедія. AJAX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AJAX>

43. Як розрахувати освітлення [Електронний ресурс] // ID Rever. – Режим доступу: <https://id.rever.com.ua/yak-rozrahuvaty-osvitlennya/>
44. Шишлов А. С. Засоби протидії SQL-ін'єкціям та XSS-атакам // Матеріали XVI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Free and Open Source Software», Харків, 13-14 лютого 2025 р. – Харків : Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, 2025. – С. 101.
45. Вікіпедія. Тестування методом чорної скриньки [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тестування_методом_чорної_скриньки
46. Rayfor. Вологозахищений лінійний світильник Rayfor WL01 сірий 40W 6400lm [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rayfor.com.ua/ua-173-vologozakhishcheniy-liniyniy-svitilnik-rayfor-wl01-siriy-40w-6400lm-40-50-60k>
47. Violux. Світлодіодний світильник панель Acura 48W 6000K [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://violux.ua/shop/led-svitylnyky/paneli-60x60/svitlodiodnyj-svitylnyk-panel-apura-48w-6000k-350012/>
48. Електробезпека [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електробезпека>
49. Вимоги до електробезпеки у офісних приміщеннях з комп'ютерною технікою [Електронний ресурс] // СТУ. – Режим доступу: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/1140.html>
50. Електробезпека на підприємстві та в офісі [Електронний ресурс] // Profiteh. – Режим доступу: <https://profiteh.ua/elektrobezpeka-na-pidpriemstvi-ta-ofisi/>
51. Заходи та засоби електробезпеки [Електронний ресурс] // Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9739156/page:26/>
52. Вимоги з електробезпеки для фахівців сфери ІТ [Електронний ресурс] // Охорона праці і пожежна безпека. – 2024. – Режим доступу: <https://oppb.com.ua/articles/vymogy-z-elektrobezpeky-dlya-fahivtsiv-sfery-it>

53. Про заходи з електробезпеки для працівників офісу [Електронний ресурс] // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу: <https://oppb.com.ua/articles/pro-zahody-z-elektrobezpeky-dlya-pracivnykiv-ofisu>

54. Вимоги до виробничого освітлення [Електронний ресурс] // Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5470308/page:38/>

ДОДАТКИ

Додаток А – Алгоритм програмного прототипу

