

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра дизайну

УДК 7.05:747:644.3:001.895

ГЛАДКИЙ
НАЗАРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Дипломна робота магістерського рівня вищої освіти
Інноваційні засоби освітлення інтер'єрів в контексті сучасних реалій
Innovative interior lighting solutions in the context of modern realities

Спеціальність 022 «Дизайн»
Галузь знань 02 «Культура і мистецтво»

Науковий керівник:
Кандидат педагогічних наук,
доцент Макар З.Ю.

Рецензент: _____
(звання, посада, прізвище та ініціали, підпис)

Львів-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра _____ дизайну
Другий рівень вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 022 «Дизайн»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. пед. н., проф. Прусак В.Ф.

“ 27 ” Листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Тема роботи Назарію Захарчівичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи „Інноваційні засоби освітлення інтер'єрів в контексті сучасного реалізму“

Науковий керівник роботи канд. пед. наук, доц. Макаєв З.Ю.

Затверджені наказом університету № С-455 від 24 липня 2025 року.

2. Термін подання кваліфікаційної роботи до захисту 10.12.2025р.

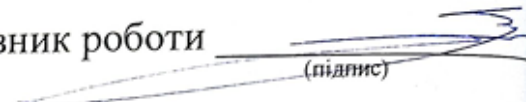
3. Вихідні дані роботи вимоги до оформлення роботи, історіографія і джерельна база.

4. Зміст теоретичної частини (розділи, які потрібно розробити) _____

Розділ 1 - історіографія, джерельна база і методика дослідження. Розділ 2. - Теоретико-методичні засоби інноваційного освітлення інтер'єрів. Розділ 3 - Інноваційні технології освітлення та їх практичне застосування


5. Перелік практичної частини (графічний матеріал) *Графічний*
банк даних з есеями, планами,
фотографіями і візуалізаціями

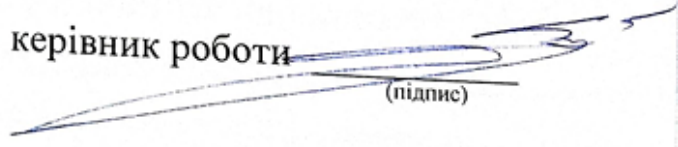
6. Дата видачі завдання 27 липня 2025 р.

Науковий керівник роботи 
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційний пошук.	вересень	<i>Виконано</i>
2	Формування зібраного матеріалу та визначення головних складових	вересень-жовтень	<i>Виконано</i>
3	Написання вступу.	жовтень	<i>Виконано</i>
4	Написання основної частини та перед проектний пошук.	жовтень-листопад	<i>Виконано</i>
5	Написання висновків, оформлення списку використаних джерел та додатків.	листопад-грудень	<i>Виконано</i>
6	Оформлення рукопису кваліфікаційної роботи, перевірка на антиплагіат теоретичної частини. Виконання практичної частини.	грудень	<i>Виконано</i>
7	Рецензування, оформлення презентації та захист.	грудень	<i>Подано до захисту</i>

Здобувач РВО «Магістр» 
(підпис)

Науковий керівник роботи 
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ІСТОРІОГРАФІЯ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1. Стан проблеми, аналіз джерел дослідження	7
1.2. Термінологічний апарат	12
1.3. Методика дослідження	16
Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІННОВАЦІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ ІНТЕР'ЄРІВ	
2.1. Поняття та сутність інноваційного освітлення інтер'єрів	22
2.2. Еволюція підходів до освітлення інтер'єрів: від традиційного до людиноцентричного	25
2.3. Міжнародні стандарти та нормативні акти щодо освітлення	29
Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОСВІТЛЕННЯ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ	
3.1. Спектрально-селективні технології освітлення	37
3.2. Терапевтичні технології освітлення	40
3.3. Smart-системи освітлення та IoT-інтеграція	44
3.4. Біофільний дизайн та компенсація природного світла	48
3.5. Енергоефективні та автономні рішення для умов України	51
Висновки до розділу 3	53
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ В УКРАЇНІ	
4.1. Освітлення в реабілітаційних закладах для військових	55
4.2. Технологічні тренди та прогнози 2025–2030	59
4.3. Українські практики та перспективи впровадження	64

4.4. Авторська концепція модульної кімнати психологічного розвантаження	
LIGHTHAVEN.....	67
Висновки до розділу 4	80
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	89
АНОТАЦІЯ (українською мовою)	94
ANNOTATION (англійською мовою)	96

ВСТУП

Актуальність дослідження. Останнє десятиліття ознаменувалося кардинальним переосмисленням ролі штучного освітлення в житті людини. Якщо раніше проєктувальники зосереджувались переважно на забезпеченні достатнього рівня освітленості для виконання зорових завдань, то сьогодні науковці та практики все частіше звертають увагу на біологічний, психологічний та терапевтичний потенціал світла [1]. Це пов'язано насамперед із революційними відкриттями в галузі нейронауки та фотобіології, які докорінно змінили уявлення про механізми взаємодії світлового випромінювання з організмом людини.

Початок XXI століття приніс принципово нове розуміння функцій зорової системи. Виявлення у 2002 році особливого типу фоторецепторів — внутрішньо фоточутливих гангліонарних клітин сітківки, що містять світлочутливий пігмент меланопсин, — засвідчило існування окремого каналу передачі світлової інформації до мозку [9]. Ці клітини не беруть участі у формуванні зображення, натомість регулюють вироблення гормонів, синхронізують внутрішній біологічний годинник із зовнішнім світловим днем та впливають на загальний рівень бадьорості [8]. Отже, око людини виконує подвійну функцію: забезпечує зір і водночас слугує своєрідним датчиком для налаштування фізіологічних процесів.

Ігнорування невізуальних ефектів освітлення у традиційному проєктуванні призвело до формування середовищ, які не відповідають біологічним потребам користувачів. Сучасна людина проводить у закритих приміщеннях понад 90% свого часу, при цьому типове штучне освітлення офісів, житла та громадських будівель не забезпечує достатнього циркадного стимулу вдень і створює надмірне навантаження на нервову систему ввечері

[10; 11]. Наслідками такого дисбалансу стають порушення сну, зниження працездатності, погіршення настрою та зростання ризику розвитку депресивних станів [14].

Для України означена проблематика набуває особливої гостроти через низку специфічних обставин. Масштабні руйнування енергетичної інфраструктури внаслідок збройної агресії російської федерації спричинили безпрецедентну кризу в енергетичному секторі країни. За різними оцінками, втрачено від половини до двох третин генеруючих потужностей [42], що змушує населення адаптуватися до регулярних відключень електроенергії тривалістю від кількох годин до половини доби [43]. У таких умовах питання енергоефективності освітлювальних систем, їхньої автономності та здатності функціонувати від альтернативних джерел живлення перестає бути суто технічним і перетворюється на питання базового комфорту та безпеки громадян.

Паралельно країна стикається з масштабним викликом у сфері медичної та психологічної реабілітації. Тисячі військовослужбовців потребують відновлення після поранень різного ступеня тяжкості, значна частина з яких супроводжується психологічними травмами [38]. Посттравматичний стресовий розлад став одним із найпоширеніших наслідків бойових дій, і традиційні методи його лікування не завжди демонструють бажану ефективність. Водночас світова наукова спільнота накопичила значний масив даних про позитивний вплив правильно організованого світлового середовища на перебіг психічних розладів. Зокрема, контрольовані клінічні випробування засвідчили, що застосування яскравого світла у ранкові години здатне суттєво зменшувати прояви посттравматичного стресу [12; 13]. Ці результати відкривають перспективи для інтеграції світлотерапевтичних підходів у проектування реабілітаційних закладів.

Додатковим чинником актуальності є необхідність приведення вітчизняної нормативної бази у відповідність до сучасних європейських

вимог. Чинні державні будівельні норми щодо освітлення [25] розроблялися без урахування новітніх наукових даних про невізуальні ефекти світла та не містять рекомендацій щодо циркадних характеристик освітлювальних установок. Натомість оновлені європейські стандарти [21; 22] та міжнародні системи сертифікації будівель [24] дедалі більше уваги приділяють саме цим аспектам, формуючи нову парадигму людиноцентричного освітлення.

Таким чином, актуальність обраної теми зумовлюється поєднанням кількох факторів: стрімким розвитком технологій освітлення та розширенням їхніх функціональних можливостей; накопиченням наукових доказів терапевтичного потенціалу світла; специфічними потребами України в умовах енергетичної кризи та необхідності розбудови реабілітаційної інфраструктури; а також євроінтеграційними процесами, що вимагають гармонізації нормативних документів.

Мета дослідження — здійснити комплексний аналіз інноваційних засобів освітлення інтер'єрів та обґрунтувати можливості їх застосування для створення комфортних, терапевтичних та енергоефективних просторів в умовах сучасних українських реалій.

Завдання дослідження, що впливають із поставленої мети:

1. Проаналізувати сучасний стан наукових досліджень у сфері архітектурного освітлення, визначити ключові напрями розвитку та виявити недостатньо вивчені аспекти проблематики.
2. Систематизувати термінологічний апарат дослідження та розкрити сутність понять, пов'язаних з інноваційним освітленням інтер'єрів.
3. Охарактеризувати теоретико-методологічні засади людиноцентричного підходу до проектування освітлення та проаналізувати відповідні міжнародні стандарти.
4. Дослідити сучасні спектрально-селективні, терапевтичні та smart-технології освітлення, оцінити можливості їх практичного застосування.

5. Вивчити міжнародний досвід використання інноваційного освітлення в реабілітаційних закладах та сформулювати рекомендації для українського контексту.
6. Окреслити перспективи розвитку інноваційного освітлення в Україні з урахуванням технологічних трендів та національних особливостей.

Об'єкт дослідження — освітлення інтер'єрів як складова архітектурно-дизайнерського середовища.

Предмет дослідження — інноваційні засоби, технології та підходи до організації освітлення інтер'єрів в контексті забезпечення комфорту, терапевтичного впливу та енергоефективності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Дипломна робота магістра виконана відповідно до тематичного плану наукових досліджень НЛТУ України в межах комплексної теми наукової роботи кафедри дизайну «Дослідження з теорії і практики дизайну, мистецтва, культури та розвитку дизайн-освіти в Україні» (zareestrovana v UkrINTI, № 0121U110772 від 23.04.2021 р.).

Тема наукової роботи «Інноваційні засоби освітлення інтер'єрів в контексті сучасних реалій» затверджена наказом НЛТУ України МР #С-455 від 24.07.2025 р.

Методи дослідження. Методи дослідження включають: аналіз наукової літератури та нормативних документів; вивчення праць провідних дослідників у галузі архітектурного освітлення, фотобіології та нейронауки для визначення ключових принципів людиноцентричного освітлення; систематизацію та узагальнення інформації. Було здійснено організацію та аналіз зібраних даних про сучасний стан проблеми, інноваційні технології та підходи до створення терапевтичних світлових середовищ. Нами було проведено огляд міжнародних стандартів освітлення (EN 12464-1:2021, CIE S 026:2018, WELL Building Standard v2) та їх порівняльний аналіз із вітчизняною нормативною базою (ДБН В.2.5-28:2018). Вивчено реалізовані проекти інноваційного освітлення в Україні та за кордоном — реабілітаційні

центри, смарт-укриття, терапевтичні простори — для визначення їхніх сильних і слабких сторін. Досліджено технічні специфікації сучасного світлотехнічного обладнання (BIOS SkyBlue, Ketra, Tunable White системи) на предмет їхньої придатності для створення терапевтичних режимів освітлення. Також нами проаналізовано клінічні дослідження ефективності світлотерапії для лікування посттравматичного стресового розладу, мігрені та інших станів. Розроблено авторську концепцію модульної кімнати психологічного розвантаження «LightHaven» з детальними технічними специфікаціями та візуалізаціями. Запропоновані рішення базуються на принципах травма-інформованого дизайну та враховують специфіку українського контексту — енергетичну нестабільність та потреби реабілітаційної сфери. Здійснено порівняння українського та міжнародного досвіду впровадження інноваційного освітлення. Предмет, мета та методи дослідження визначають структурований підхід до розробки рекомендацій щодо використання інноваційних засобів освітлення інтер'єрів, що дозволить забезпечити комфорт, терапевтичний вплив та енергоефективність для всіх категорій користувачів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в здійсненому комплексному аналізі спектрально-селективних технологій освітлення нового покоління (зокрема BIOS SkyBlue, Ketra Dynamic Spectrum, вузькосмугової зеленої терапії, фотобіомодуляції) з позиції можливостей їх інтеграції в дизайн інтер'єру;

набули подальшого розвитку теоретичні положення щодо застосування принципів травма-інформованого дизайну в проєктуванні освітлення реабілітаційних закладів для військовослужбовців;

удосконалено рекомендації щодо впровадження людиноцентричного освітлення з урахуванням специфічних умов України — енергетичної нестабільності, потреб реабілітаційної сфери та процесів гармонізації з європейськими стандартами.

Практичне значення одержаних результатів. Сформульовані нами в роботі рекомендації можуть бути використані при проектуванні освітлення:

- реабілітаційних центрів для військовослужбовців та ветеранів із урахуванням терапевтичного потенціалу світла;
- медичних закладів різного профілю, де правильна організація світлового середовища сприяє одужанню пацієнтів;
 - житлових приміщень в умовах нестабільного енергопостачання із застосуванням автономних та гібридних систем;
- громадських будівель відповідно до принципів людиноцентричного освітлення;
- підземних просторів та укриттів із компенсацією відсутності природного світла засобами біофільного дизайну.

Матеріали дослідження можуть слугувати науковим підґрунтям для оновлення вітчизняних нормативних документів у сфері освітлення, зокрема ДБН В.2.5-28:2018, в напрямі врахування циркадних характеристик та невізуальних ефектів світла.

Апробація результатів дослідження. Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи доповідались та обговорювались на 77-й науково-технічній конференції студентів, аспірантів та слухачів Малої лісової академії Національного лісотехнічного університету України, тема доповіді «Психологічний вплив освітлення на формування комфортного інтер'єрного середовища».

Структура роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг роботи становить 96 сторінок, з яких основного тексту — 96 сторінок. Робота містить таблиці, рисунки та додаток. Список використаних джерел налічує 46 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ІСТОРИОГРАФІЯ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Стан проблеми, аналіз джерел дослідження

Наукове осмислення впливу штучного освітлення на людину має порівняно недовгу, проте надзвичайно насичену історію. Протягом більшої частини ХХ століття дослідники зосереджувались переважно на візуальних аспектах освітлення — забезпеченні достатньої кількості світла для виконання різноманітних зорових завдань. Лише на межі тисячоліть відбувся парадигмальний зсув, пов'язаний із усвідомленням того, що світло впливає на організм людини значно глибше, ніж вважалось раніше. Цей підрозділ присвячено аналізу еволюції наукових поглядів на проблематику освітлення інтер'єрів та систематизації джерельної бази дослідження.

Фундаментальні засади сучасної світлотехніки було закладено у першій половині ХХ століття, коли активний розвиток електрифікації та промислового виробництва поставив перед інженерами та архітекторами завдання раціональної організації штучного освітлення. У цей період сформувались базові метрики оцінки якості світлового середовища: освітленість, вимірювана в люксах; рівномірність розподілу світла; показники засліпленості; індекс кольоропередачі джерел світла [2]. Ці параметри й донині залишаються основою нормативних документів у сфері освітлення, хоча їхня достатність для комплексної оцінки світлового середовища все частіше ставиться під сумнів.

Значний внесок у розвиток теорії архітектурного освітлення належить американському досліднику Пітеру Бойсу (Peter Boyse), чия фундаментальна праця «Human Factors in Lighting» витримала три видання та стала класичним

підручником для фахівців галузі [1]. Бойс одним із перших почав розглядати освітлення не лише як технічну систему, а як середовищний фактор, що взаємодіє з психологією та фізіологією людини. У своїх роботах він послідовно доводив, що якість освітлення не може бути зведена до кількісних показників освітленості, оскільки суб'єктивне сприйняття світлового середовища залежить від багатьох інших чинників [4].

Паралельно формувався напрям досліджень, пов'язаний із вивченням впливу освітлення на працездатність та самопочуття людини в робочому середовищі. Канадська дослідниця Дженніфер Вейч (Jennifer Veitch) присвятила цій проблематиці понад три десятиліття наукової діяльності. Її експериментальні роботи засвідчили існування складних взаємозв'язків між характеристиками освітлення офісних приміщень та показниками продуктивності, настрою й задоволеності працівників [7; 45]. Вейч також зробила вагомий внесок у розробку методологічних підходів до дослідження психологічних ефектів освітлення, наголошуючи на необхідності врахування індивідуальних відмінностей та контекстуальних факторів.

Шведський психолог Ігор Кнез (Igor Knez) досліджував вплив різних параметрів освітлення на когнітивні функції та емоційний стан людини. Його експерименти продемонстрували, що колірна температура світла здатна модулювати настрій та впливати на виконання завдань, що вимагають різних типів мислення [5; 6]. Кнез також звернув увагу на гендерні та вікові відмінності у сприйнятті освітлення, що мало важливе значення для подальшого розвитку персоналізованих підходів до проектування світлового середовища.

Поворотним моментом в історії досліджень освітлення стало відкриття у 2002 році нового типу фоторецепторів у сітківці ока людини. Група американських нейробіологів на чолі з Девідом Берсоном (David Berson) ідентифікувала внутрішньо фоточутливі гангліонарні клітини (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, ipRGCs), які містять світлочутливий пігмент меланопсин і функціонують незалежно від паличок та колбочок [9].

Це відкриття докорінно змінило уявлення про механізми взаємодії світла з організмом людини.

На відміну від класичних фоторецепторів, що забезпечують формування зорових образів, ipRGCs виконують невізуальні функції. Вони передають інформацію про рівень освітленості до супрахіазматичного ядра гіпоталамуса — центрального водія циркадних ритмів, а також до інших структур мозку, що регулюють вироблення гормонів, рівень бадьорості та настроїв [8]. Максимальна чутливість меланопсину припадає на довжину хвилі близько 480 нанометрів, що відповідає блакитній частині видимого спектру.

Марк Реа (Mark Rea), директор Центру дослідження освітлення при Політехнічному інституті Ренселера, разом із колегами розробив концепцію «циркадного світла» та запропонував нові метрики для оцінки біологічної ефективності освітлення [8]. Його дослідницька група створила модель циркадного стимулу (Circadian Stimulus, CS), яка дозволяє прогнозувати вплив конкретного світлового середовища на пригнічення секреції мелатоніну — гормону, що регулює цикл сну та неспання. Ці розробки заклали науковий фундамент для проектування освітлення з урахуванням його впливу на біологічні ритми людини.

Крістіан Кахохен (Christian Cajochen) із Базельського університету провів серію досліджень, що продемонстрували здатність світла впливати на рівень суб'єктивної бадьорості, когнітивну продуктивність та фізіологічні показники активації організму [10]. Його роботи засвідчили, що ці ефекти залежать не лише від інтенсивності освітлення, а й від його спектрального складу, часу експозиції та індивідуальних особливостей людини. Кахохен також вивчав вплив світла електронних пристроїв на якість сну, що набуло особливої актуальності в епоху повсюдного використання смартфонів та комп'ютерів.

Накопичення наукових даних про невізуальні ефекти світла створило передумови для формування нового підходу до проектування освітлення,

який отримав назву Human Centric Lighting (HCL) — людиноцентричне освітлення. Цей підхід передбачає врахування не лише візуальних, а й біологічних та емоційних потреб користувачів при створенні світлового середовища [4].

Голландська дослідниця Івонн де Корт (Yvonne de Kort) з Технічного університету Ейндховена зробила значний внесок у методологічне обґрунтування досліджень людиноцентричного освітлення. У своїх оглядових роботах із якими я погоджуюсь, вона систематизувала існуючі знання про психологічні та фізіологічні ефекти світла, визначила ключові методологічні виклики та окреслила перспективні напрями подальших досліджень [15]. Де Корт також наголосила на необхідності розмежування короткострокових та довгострокових ефектів освітлення, оскільки вони можуть мати різну природу та механізми.

Практичне втілення ідей людиноцентричного освітлення стало можливим завдяки розвитку світлодіодних технологій. На відміну від традиційних джерел світла, LED-системи дозволяють гнучко керувати спектральним складом випромінювання, змінюючи колірну температуру та співвідношення різних спектральних компонентів [3]. Це відкрило можливості для створення динамічного освітлення, що імітує природні зміни денного світла протягом доби.

Терапевтичні застосування світла. Окремим напрямом досліджень стало вивчення терапевтичного потенціалу світла. Найбільш вивченим є застосування яскравого світла для лікування сезонного афективного розладу — депресивного стану, що розвивається в осінньо-зимовий період у зв'язку зі скороченням тривалості світлового дня. Численні клінічні випробування підтвердили ефективність світлотерапії при цьому розладі, і сьогодні вона визнається методом першої лінії лікування [14].

Останнім часом дослідники почали вивчати можливості застосування світлотерапії при інших станах, зокрема при посттравматичному стресовому розладі (ПТСР). Рандомізоване контрольоване випробування, проведене

Янгстедтом та співавторами за участю ветеранів бойових дій, продемонструвало, що чотиритижневий курс ранкової експозиції яскравим світлом призводить до значного зменшення симптомів ПТСР [12]. Рівень позитивної відповіді на лікування у групі активної терапії становив 44%, тоді як у контрольній групі — лише близько 9%. Ці результати свідчать про перспективність інтеграції світлотерапевтичних підходів у комплексні програми реабілітації.

Кілгор та колеги дослідили нейробиологічні механізми впливу світлотерапії при ПТСР і виявили, що ранкова експозиція синім світлом призводить до збільшення об'єму сірої речовини в мигдалині — структурі мозку, що відіграє ключову роль у регуляції емоцій та формуванні страху [13]. Ці дані підтверджують, що терапевтичні ефекти світла опосередковуються нейропластичними змінами і можуть мати довготривалий характер.

Інноваційним напрямом є дослідження вузькосмугового зеленого світла для лікування мігрені. Роботи Рамі Бурштейна, які дуже зацікавили мене, з Гарвардської медичної школи засвідчили, що світло з довжиною хвилі близько 520 нанометрів, на відміну від інших спектральних діапазонів, не посилює головний біль у пацієнтів з мігренню і може навіть зменшувати його інтенсивність [16; 17]. Це відкриває можливості для створення спеціалізованих освітлювальних систем для людей, які страждають на фотофобію.

Фотобіомодуляція (PBM) — ще один перспективний терапевтичний напрям, що передбачає використання червоного та ближнього інфрачервоного світла для стимуляції клітинних процесів. Дослідження засвідчили, що випромінювання в діапазоні 600-1000 нанометрів поглинається мітохондріями клітин і активує вироблення аденозинтрифосфату (АТФ), що сприяє регенерації тканин, зменшенню запалення та прискоренню загоєння ран [18; 19]. Транскраніальна фотобіомодуляція досліджується як

потенційний метод лікування когнітивних порушень при черепно-мозкових травмах [20].

Прогалини в дослідженнях та обґрунтування вибору теми. Попри значний обсяг накопичених знань, низка аспектів проблематики залишається недостатньо вивченою. По-перше, більшість досліджень проводились у лабораторних умовах з короткотривалою експозицією, тоді як дані про довгострокові ефекти реального освітлення в житлових та робочих приміщеннях є обмеженими [15]. По-друге, індивідуальні відмінності у чутливості до світла вивчені недостатньо, хоча відомо, що вони можуть бути суттєвими — зокрема, літні люди потребують значно вищих рівнів освітлення для досягнення того самого циркадного ефекту, що й молоді [11].

По-третє, практично відсутні дослідження, присвячені специфіці застосування інноваційного освітлення в умовах країн, що переживають збройні конфлікти та пов'язані з ними енергетичні кризи. Питання проєктування освітлення для реабілітаційних закладів, укриттів та приміщень з нестабільним енергопостачанням потребують окремого вивчення з урахуванням унікального поєднання викликів.

Нарешті, актуальною залишається проблема розриву між науковими знаннями та практикою проєктування. Попри накопичення доказової бази щодо невізуальних ефектів світла, ці знання повільно інтегруються в нормативні документи та проєктну діяльність [4]. В Україні ця проблема посилюється застарілістю чинних будівельних норм та відсутністю фахової літератури українською мовою.

Таким чином, аналіз джерельної бази засвідчує, що дослідження інноваційних засобів освітлення інтер'єрів є актуальним науковим напрямом, який потребує подальшого розвитку з урахуванням специфічних потреб України в сучасних умовах.

1.2. Термінологічний апарат

Міждисциплінарний характер досліджень у сфері інноваційного освітлення інтер'єрів зумовлює необхідність чіткого визначення понятійного апарату, що охоплює терміни зі світлотехніки, фотобіології, нейронауки та дизайну. Нижче наведено дефініції ключових понять, що використовуються в цій роботі.

Архітектурне освітлення (англ. Architectural Lighting) — комплексний підхід до організації природного та штучного освітлення архітектурного простору, спрямований на забезпечення візуального комфорту, функціональної відповідності та естетичної виразності середовища [1]. На відміну від суто технічного підходу, архітектурне освітлення розглядає світло як повноцінний засіб формування просторового середовища нарівні з формою, кольором та матеріалами.

Освітленість — фотометрична величина, що характеризує кількість світлового потоку, який падає на одиницю площі поверхні. Вимірюється в люксах (лк). Освітленість є базовою метрикою для нормування освітлення робочих місць і традиційно вважалася основним показником якості світлового середовища [2]. Однак сучасні дослідження засвідчують, що освітленість не є достатньою характеристикою для комплексної оцінки впливу світла на людину.

Колірна температура (англ. Correlated Color Temperature, CCT) — характеристика спектрального складу випромінювання джерела світла, що виражається через температуру абсолютно чорного тіла, яке має аналогічний відтінок. Вимірюється в Кельвінах (К). Джерела з низькою колірною температурою (2700-3000 К) створюють «теплий» жовтуватий відтінок, тоді як високі значення (5000-6500 К) відповідають «холодному» білому світлу з синюватим відтінком [3].

Спектральний розподіл потужності (англ. Spectral Power Distribution, SPD) — графічне або числове представлення розподілу енергії випромінювання джерела світла по довжинах хвиль видимого спектру. На відміну від колірної температури, яка дає лише узагальнену характеристику

відтінку, SPD повністю описує спектральний склад світла і дозволяє прогнозувати його біологічні ефекти [8]. Два джерела з однаковою колірною температурою можуть мати принципово різні SPD і, відповідно, різний вплив на організм.

Внутрішньо фоточутливі гангліонарні клітини сітківки (англ. *intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells, ipRGCs*) — особливий тип нейронів сітківки ока, що містять світлочутливий пігмент меланопсин і здатні реагувати на світло незалежно від паличок та колбочок [9]. Становлять приблизно 1-2% від загальної кількості гангліонарних клітин. Відповідають за невізуальні функції зорової системи: регуляцію циркадних ритмів, контроль розміру зіниці, модуляцію бадьорості та настрою.

Меланопсин — світлочутливий пігмент, що міститься в ipRGCs і має максимум поглинання при довжині хвилі близько 480 нм [9]. Саме ця спектральна чутливість визначає переважний вплив синьо-блакитного світла на циркадну систему людини.

Циркадні ритми — ендogenous біологічні ритми з періодом близько 24 годин, що регулюють різноманітні фізіологічні процеси: цикл сну та неспання, вироблення гормонів, температуру тіла, метаболізм тощо [8]. Центральний водій циркадних ритмів — супрахіазматичне ядро гіпоталамуса — синхронізується із зовнішнім світловим днем завдяки сигналам від ipRGCs.

Циркадне освітлення — підхід до проектування штучного освітлення, що враховує його вплив на циркадну систему людини і передбачає динамічну зміну параметрів світла протягом доби для підтримки здорових біологічних ритмів [8]. Ранкове освітлення має забезпечувати достатній циркадний стимул для пригнічення секреції мелатоніну і підвищення бадьорості, тоді як вечірнє — мінімізувати вплив на циркадну систему для сприяння природному засинанню.

Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI) — метрика, що характеризує ефективність освітлення з точки зору стимуляції ipRGCs [23].

Вимірюється в люксах і показує, яку освітленість мало б мати стандартне денне світло (Illuminant D65), щоб створити еквівалентний вплив на меланопсинову систему. Ця метрика рекомендована Міжнародною комісією з освітлення (CIE) для оцінки циркадних характеристик світлового середовища.

Circadian Stimulus (CS) — альтернативна метрика циркадної ефективності освітлення, розроблена Центром дослідження освітлення при Політехнічному інституті Ренселера [8]. Являє собою безрозмірну величину від 0 до 0,7, що відображає прогнозований рівень пригнічення секреції мелатоніну. Значення $CS \geq 0,3$ вважаються достатніми для забезпечення денного рівня бадьорості.

Human Centric Lighting (HCL) — людиноцентричне освітлення — концепція проєктування освітлення, що враховує не лише візуальні потреби користувачів, а й біологічні та емоційні ефекти світла [4]. Передбачає застосування динамічних освітлювальних систем, здатних змінювати інтенсивність та спектральний склад випромінювання залежно від часу доби, активності та індивідуальних потреб користувачів.

Tunable White — технологія освітлення, що дозволяє змінювати колірну температуру білого світла шляхом регулювання співвідношення потужності «теплих» та «холодних» світлодіодів [27]. Є базовою технологією для реалізації динамічного освітлення, хоча має обмеження щодо контролю спектрального складу.

Spectral Tuning — більш досконала технологія управління спектром, що дозволяє незалежно регулювати інтенсивність випромінювання в різних спектральних діапазонах [27; 28]. На відміну від Tunable White, забезпечує можливість оптимізації як візуальних, так і біологічних характеристик світла.

Фотобіомодуляція (англ. Photobiomodulation, PBM) — вплив на біологічні процеси в тканинах організму за допомогою низькоінтенсивного світла червоного та ближнього інфрачервоного діапазонів (600-1000 нм) [18]. Механізм дії пов'язаний із поглинанням випромінювання

цитохром-с-оксидазою мітохондрій, що призводить до активації клітинного метаболізму, посилення синтезу АТФ та стимуляції регенеративних процесів.

Травма-інформований дизайн (англ. Trauma-Informed Design, TID) — підхід до проектування середовища, що враховує потреби людей, які пережили психологічну травму, і мінімізує ризик повторної травматизації [32]. У контексті освітлення передбачає уникнення тригерних факторів (різких контрастів, мерехтіння), забезпечення відчуття безпеки та надання користувачам контролю над параметрами світлового середовища.

Біофільний дизайн — проєктний підхід, що ґрунтується на гіпотезі біофілії — вродженої потреби людини у зв'язку з природою [30]. У сфері освітлення реалізується через максимальне використання природного світла, імітацію його характеристик у штучному освітленні, застосування динамічних світлових сценаріїв та створення візуального зв'язку із зовнішнім середовищем.

Віртуальні вікна — технологічні рішення, що імітують наявність вікон у приміщеннях без природного освітлення шляхом відтворення зображень зовнішнього середовища на екранах або проєкційних поверхнях [30; 31]. Сучасні системи використовують високоякісну відеозйомку реального неба та ландшафтів, а також алгоритми синхронізації з поточним часом доби.

Li-Fi (Light Fidelity) — технологія бездротової передачі даних за допомогою модульованого світлового випромінювання видимого діапазону [36]. Дозволяє поєднувати функції освітлення та високошвидкісного зв'язку в єдиній інфраструктурі. Стандартизована IEEE як 802.11bb у 2023 році.

Наведений термінологічний апарат формує понятійну основу для подальшого викладу матеріалу та забезпечує однозначність інтерпретації ключових понять, що використовуються в дослідженні.

1.3. Методика дослідження

Досягнення поставленої мети та вирішення завдань дослідження потребувало застосування комплексу методів, адекватних специфіці предмета вивчення. Міждисциплінарний характер проблематики інноваційного освітлення інтер'єрів, що поєднує аспекти світлотехніки, фізіології, психології та дизайну, зумовив необхідність інтеграції підходів різних наукових галузей.

Аналітичний метод застосовувався на всіх етапах роботи і передбачав детальне опрацювання наукової літератури, технічної документації та нормативних актів. На першому етапі було проаналізовано фундаментальні праці з архітектурного освітлення [1; 2; 3], що дозволило сформулювати уявлення про класичні підходи до проектування світлового середовища. Далі опрацьовано масив публікацій з фотобіології та циркадної нейронауки [8; 9; 10; 11], що розкривають механізми невізуального впливу світла на організм людини.

Окремим блоком проаналізовано клінічні дослідження терапевтичного застосування світла [12; 13; 16; 17; 18; 19; 20], що дозволило оцінити доказову базу різних світлотерапевтичних підходів. Також опрацьовано технічну документацію провідних виробників інноваційного освітлювального обладнання [27; 28; 29], що забезпечило розуміння сучасного стану та можливостей технологій.

Метод порівняння використано для зіставлення різних технологій освітлення за їхніми технічними характеристиками, функціональними можливостями та сферами застосування. Зокрема, порівнювались традиційні підходи до нормування освітлення з людиноцентричними [21; 22; 24; 25]; технології Tunable White та Spectral Tuning [27; 28]; різні терапевтичні методики світлолікування [12; 16; 18]. Також здійснено порівняльний аналіз підходів до проектування освітлення реабілітаційних закладів у різних країнах [33; 34; 29].

Метод систематизації дозволив класифікувати інноваційні технології освітлення за кількома критеріями: за принципом дії

(спектрально-селективні, терапевтичні, smart-системи, біофільні рішення); за функціональним призначенням (забезпечення циркадної регуляції, терапевтичний вплив, енергозбереження, компенсація природного світла); за сферою застосування (житлові, громадські, медичні, реабілітаційні приміщення). Така систематизація забезпечила структурованість викладу матеріалу в основній частині роботи.

Метод узагальнення застосовано для формулювання висновків на основі опрацьованого масиву інформації. Узагальнення здійснювалось на кількох рівнях: в межах окремих підрозділів, розділів та роботи загалом. Результатом стало формулювання принципів проектування інноваційного освітлення та практичних рекомендацій для різних типів приміщень.

Прогностичний метод використано для визначення перспективних напрямів розвитку технологій освітлення та оцінки можливостей їх впровадження в Україні. Прогнозування ґрунтувалось на аналізі поточних технологічних трендів, ринкових досліджень [35; 36; 37] та оцінці специфічних умов української ситуації [42; 43].

Метод вивчення документів застосовано для аналізу нормативно-правової бази у сфері освітлення. Опрацьовано чинні українські будівельні норми [25; 26], європейські стандарти [21], міжнародні стандарти [22; 23] та системи сертифікації будівель [24]. Порівняльний аналіз цих документів дозволив виявити розбіжності в підходах та визначити напрями необхідної гармонізації.

Метод аналізу практичних прикладів (case study) використано для вивчення реалізованих проєктів інноваційного освітлення. Проаналізовано досвід проектування освітлення реабілітаційних центрів у США [33; 34], впровадження циркадних систем у медичних закладах Данії [29], а також українські практики — Терапевтичний сад на ВДНГ [38], смарт-укриття CLUST SPACE [39], проєкти студій Yalanzhi Objects [40] та Makhno Studio [41]. Аналіз практичних прикладів дозволив виявити успішні підходи та типові помилки.

Обґрунтування вибору методів. Вибір методів зумовлювався специфікою поставлених завдань та наявними можливостями. Оскільки дослідження має переважно теоретико-аналітичний характер, основу методичного апарату склали саме теоретичні методи. Емпіричний компонент представлено аналізом документів та практичних прикладів, що є адекватними методами для магістерського дослідження в галузі дизайну.

Слід зазначити обмеження дослідження, пов'язані з неможливістю проведення власних експериментальних досліджень впливу різних типів освітлення на людину. Такі дослідження потребують спеціалізованого обладнання, тривалого часу та значних ресурсів, що виходить за межі магістерської роботи. Натомість здійснено систематичний аналіз результатів досліджень, проведених іншими науковцями, з критичною оцінкою їхньої методологічної якості та можливості узагальнення.

Етапи проведення дослідження. Дослідження проводилось у чотири етапи:

Перший етап (підготовчий) включав формулювання теми, визначення мети та завдань, пошук та первинний огляд джерел, формування бібліографічної бази дослідження.

Другий етап (теоретико-аналітичний) передбачав поглиблений аналіз літератури, систематизацію термінологічного апарату, вивчення сучасного стану проблеми та виявлення прогалин у дослідженнях.

Третій етап (дослідницький) включав аналіз інноваційних технологій освітлення, вивчення практичних прикладів їх застосування, порівняльний аналіз нормативних документів.

Четвертий етап (узагальнюючий) передбачав формулювання висновків та рекомендацій, визначення перспектив подальших досліджень, оформлення результатів роботи. Застосована методика забезпечує системний підхід до вивчення проблематики інноваційного освітлення інтер'єрів і дозволяє отримати науково обґрунтовані результати, що мають як теоретичне, так і практичне значення.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз історіографії, джерельної бази та методологічних засад дослідження дозволяє сформулювати ряд важливих висновків.

Еволюція наукових поглядів на освітлення інтер'єрів засвідчує поступовий перехід від суто технічного підходу, зосередженого на забезпеченні достатньої освітленості для виконання зорових завдань, до комплексного розуміння світла як фактору, що впливає на фізіологію, психологію та поведінку людини. Ключовим поворотним моментом стало відкриття внутрішньо фоточутливих гангліонарних клітин сітківки та меланопсинової системи невізуальної фоторецепції [9], що науково обґрунтувало існування біологічних ефектів освітлення, які не зводяться до забезпечення видимості.

Проаналізована нами джерельна база засвідчила наявність значного масиву досліджень у галузі людиноцентричного освітлення, циркадної фотобіології та терапевтичного застосування світла. Фундаментальні праці П. Бойса [1], Дж. Вейч [7; 45], М. Реа [8], І. Кнеза [5; 6], Ю. де Корт [15] та інших дослідників створюють теоретичне підґрунтя для практичного впровадження інноваційних підходів до проектування освітлення. Водночас виявлено прогалини в дослідженнях, пов'язані з недостатнім вивченням довгострокових ефектів реального освітлення, індивідуальних відмінностей у чутливості до світла та специфіки застосування інноваційних технологій в умовах країн, що переживають збройні конфлікти.

Сформований термінологічний апарат охоплює понятійний базис дослідження і включає терміни зі світлотехніки (освітленість, кольорова температура, спектральний розподіл потужності), фотобіології (ipRGCs, меланопсин, циркадні ритми), новітніх концепцій проектування (Human Centric Lighting, травма-інформований дизайн, біофільний дизайн) та інноваційних технологій (Tunable White, Spectral Tuning, фотобіомодуляція,

Li-Fi). Чітке визначення термінів забезпечує однозначність інтерпретації матеріалу та відповідність міжнародній науковій термінології.

Розроблена методика дослідження базується на комплексному застосуванні теоретичних методів (аналіз, порівняння, систематизація, узагальнення, прогнозування) та емпіричних підходів (вивчення документів, аналіз практичних прикладів). Така методика є адекватною характеру та завданням магістерського дослідження в галузі дизайну і дозволяє отримати науково обґрунтовані результати.

Проведений аналіз підтверджує актуальність обраної теми та створює теоретико-методологічне підґрунтя для подальшого дослідження інноваційних засобів освітлення інтер'єрів та можливостей їх застосування в контексті сучасних українських реалій.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІННОВАЦІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ ІНТЕР'ЄРІВ

2.1. Поняття та сутність інноваційного освітлення інтер'єрів

Трансформація уявлень про роль світла в архітектурному середовищі, що відбулася протягом останніх двох десятиліть, зумовила появу принципово нових підходів до проєктування освітлювальних систем. Якщо традиційна світлотехніка розглядала штучне освітлення переважно як засіб забезпечення видимості та створення візуального комфорту, то сучасна парадигма значно розширює функціональний спектр світла, включаючи до нього регуляцію біологічних ритмів, терапевтичний вплив та формування емоційного стану користувачів [1; 4].

Від функціонального до багатовимірного розуміння освітлення. Класичний підхід до проєктування освітлення ґрунтувався на концепції візуальної ергономіки, головним завданням якої було створення умов для ефективного виконання зорових завдань. Основними критеріями якості світлового середовища слугували кількісні показники: рівень освітленості на робочій поверхні, рівномірність розподілу світла, обмеження засліпленості, правильність кольоропередачі [2]. Ці параметри й донині залишаються важливими складовими оцінки освітлення, проте їхня достатність для комплексної характеристики світлового середовища все частіше ставиться під сумнів.

Сучасне розуміння інноваційного освітлення передбачає врахування щонайменше трьох вимірів впливу світла на людину. Перший — візуальний вимір — охоплює традиційні аспекти забезпечення зорового сприйняття та комфорту. Другий — біологічний вимір — стосується впливу світла на

фізіологічні процеси організму, насамперед на циркадну систему та вироблення гормонів [8]. Третій — емоційний вимір — пов'язаний із здатністю світла модулювати настрій, створювати певну атмосферу та впливати на психологічний стан користувачів [5; 6].

Таке багатовимірне розуміння освітлення кардинально змінює підходи до його проектування. Замість статичних систем, налаштованих на забезпечення фіксованого рівня освітленості, з'являються динамічні рішення, здатні адаптуватися до потреб користувачів, часу доби та характеру діяльності. Замість універсальних нормативів формуються персоналізовані підходи, що враховують індивідуальні особливості сприйняття світла [11].

Ключовим науковим підґрунтям інноваційного освітлення є розуміння механізмів, через які світло впливає на організм людини поза межами зорового сприйняття. Відкриття внутрішньо фоточутливих гангліонарних клітин сітківки [9] засвідчило існування окремого каналу передачі світлової інформації до мозку, який не бере участі у формуванні зображень, натомість регулює численні фізіологічні функції.

Меланопсинова система, представлена цими клітинами, має максимальну чутливість у синьо-блакитній частині спектру з піком близько 480 нанометрів [9]. Активація цієї системи яскравим світлом відповідного спектрального складу призводить до низки фізіологічних реакцій: пригнічення секреції мелатоніну — гормону, що регулює цикл сну та неспання; підвищення рівня кортизолу та бадьорості; синхронізації внутрішнього біологічного годинника із зовнішнім світловим днем [8; 10].

Ці механізми мають важливе практичне значення для проектування освітлення. Ранкова експозиція яскравим світлом із достатнім вмістом синьо-блакитного компонента сприяє швидкому пробудженню, підвищенню концентрації уваги та активації когнітивних функцій. Натомість вечірне освітлення має мінімізувати вплив на меланопсинову систему, щоб не порушувати природну підготовку організму до сну [10; 14].

Окрім циркадних ефектів, світло здатне безпосередньо впливати на емоційний стан та когнітивну продуктивність. Дослідження засвідчують, що яскраве освітлення підвищує суб'єктивний рівень бадьорості та покращує виконання завдань, що потребують уваги [10]. Колірна температура світла модулює емоційне сприйняття простору: тепле світло асоціюється із затишком та розслабленням, тоді як холодне — з активністю та зосередженістю [5; 6].

У контексті українських реалій проблематика інноваційного освітлення набуває особливого значення у зв'язку з унікальним поєднанням викликів, що постали перед країною. Масштабне руйнування енергетичної інфраструктури внаслідок російської агресії призвело до хронічного дефіциту електроенергії та систематичних відключень [42; 43]. У таких умовах, на нашу думку, питання енергоефективності освітлювальних систем перестає бути суто економічним і перетворюється на питання базової життєздатності.

Світлодіодні технології, що становлять основу інноваційного освітлення, забезпечують значно вищу енергоефективність порівняно з традиційними джерелами світла. Сучасні LED-системи споживають на 75-80% менше електроенергії для створення еквівалентного світлового потоку [37]. Це робить їх особливо привабливими для умов обмеженого енергопостачання та створює передумови для впровадження автономних систем на основі акумуляторів та відновлюваних джерел енергії.

Паралельно Україна стикається з безпрецедентним викликом у сфері реабілітації військовослужбовців та цивільного населення, що постраждало внаслідок бойових дій. Тисячі людей потребують відновлення після фізичних поранень та психологічних травм [38]. Посттравматичний стресовий розлад став одним із найпоширеніших наслідків війни, і традиційні методи його лікування не завжди демонструють бажану ефективність.

У цьому контексті терапевтичний потенціал інноваційного освітлення набуває особливої актуальності. Наукові дослідження засвідчують ефективність світлотерапії у зменшенні симптомів посттравматичного стресу

[12; 13]. Правильно організоване світлове середовище реабілітаційних закладів може стати важливим допоміжним фактором одужання, сприяючи нормалізації сну, покращенню настрою та відновленню когнітивних функцій.

Додатковим аспектом є необхідність проектування освітлення для укриттів та підземних просторів, де люди змушені проводити значний час під час повітряних тривог. Відсутність природного світла в таких приміщеннях створює специфічні виклики для підтримання циркадних ритмів та психологічного комфорту. Інноваційні рішення, зокрема віртуальні вікна та біофільні елементи освітлення, можуть частково компенсувати ці негативні впливи [30; 31].

Таким чином, інноваційне освітлення інтер'єрів являє собою комплексний підхід до проектування світлового середовища, що виходить за межі традиційного забезпечення видимості та охоплює біологічні, терапевтичні та емоційні аспекти впливу світла на людину. Для України цей підхід набуває особливої значущості у зв'язку з необхідністю вирішення взаємопов'язаних завдань енергоефективності, реабілітації та забезпечення комфорту в умовах військового часу.

2.2. Еволюція підходів до освітлення інтер'єрів: від традиційного до людиноцентричного

Історія розвитку підходів до проектування штучного освітлення відображає поступове розширення розуміння функцій світла в архітектурному середовищі. Від початкового зосередження на суто технічних аспектах забезпечення видимості галузь еволюціонувала до комплексного врахування біологічних та психологічних потреб користувачів. Цей підрозділ присвячено аналізу основних етапів цієї еволюції та характеристиці сучасної парадигми людиноцентричного освітлення.

Формування наукових засад проектування освітлення припадає на першу половину ХХ століття, коли масове впровадження електричного

освітлення у виробничих, громадських та житлових будівлях поставило завдання раціональної організації світлового середовища. Дослідники того періоду зосереджувались переважно на вивченні зорової системи людини та визначенні оптимальних умов для виконання різноманітних зорових завдань [2].

Результатом цих досліджень стало формування системи кількісних метрик оцінки освітлення. Центральне місце серед них посіла освітленість — величина, що характеризує густину світлового потоку на освітлюваній поверхні. Для різних видів діяльності було встановлено нормативні значення освітленості: від 50-100 люкс для загальної орієнтації у просторі до 500-1000 люкс і більше для точних зорових робіт [2; 25].

Поряд з освітленістю важливими характеристиками вважались рівномірність розподілу світла, що запобігає адаптаційним труднощам при переведенні погляду з однієї зони в іншу; обмеження засліпленості, що знижує зоровий дискомфорт; індекс кольоропередачі, що характеризує здатність джерела світла правильно відтворювати кольори об'єктів [2]. Ці параметри й донині становлять основу нормативних документів у сфері освітлення.

Традиційний підхід базувався на припущенні, що головним завданням освітлення є забезпечення видимості, а всі інші ефекти світла є вторинними або несуттєвими. Відповідно, проектування зводилось до розрахунку кількості та потужності світильників, необхідних для досягнення нормативного рівня освітленості на робочих поверхнях. Якісні аспекти світлового середовища — його вплив на самопочуття, настрій, працездатність — здебільшого залишались поза увагою проектувальників.

У перехідному періоді усвідомлення психологічних ефектів, починаючи з 1970-80-х років, дослідники почали систематично вивчати вплив освітлення на суб'єктивний комфорт та психологічний стан користувачів. Експериментальні роботи засвідчили, що люди по-різному сприймають

приміщення залежно від характеристик їхнього освітлення, навіть якщо рівень освітленості залишається незмінним [7].

Дженніфер Вейч та її колеги продемонстрували, що якість освітлення офісних приміщень впливає на задоволеність працівників робочим середовищем, їхній настрій та самооцінку продуктивності [7; 45]. При цьому зв'язок між об'єктивними параметрами освітлення та суб'єктивними оцінками виявився складнішим, ніж очікувалось: однакові умови освітлення могли сприйматись по-різному залежно від контексту та індивідуальних особливостей.

Ігор Кнез досліджував вплив колірної температури освітлення на емоційний стан та когнітивні функції [5; 6]. Його експерименти продемонстрували, що тепле світло (низька колірна температура) асоціюється з відчуттям затишку та розслаблення, тоді як холодне світло (висока колірна температура) — з активністю та зосередженістю. Також було виявлено, що оптимальна колірна температура може відрізнятись для різних типів завдань: творча діяльність краще виконується при теплому освітленні, тоді як аналітична — при холодному.

Ці дослідження закладали підґрунтя для більш комплексного розуміння ролі освітлення в архітектурному середовищі, проте ще не враховували біологічних механізмів впливу світла на організм, які були відкриті пізніше.

Принципово новий етап у розвитку підходів до освітлення розпочався після відкриття внутрішньо фоточутливих гангліонарних клітин сітківки у 2002 році [9]. Це відкриття надало науковий фундамент для розуміння того, чому освітлення впливає на організм людини значно глибше, ніж просто забезпечує можливість бачити.

Було встановлено, що меланопсинова система невізуальної фоторецепції має власну спектральну чутливість, відмінну від зорової системи. Максимум чутливості меланопсину припадає на довжину хвилі близько 480 нм, що відповідає синьо-блакитному світлу [9]. Це означає, що біологічна ефективність освітлення не збігається з його візуальною

ефективністю: два джерела світла можуть створювати однакову освітленість, проте мати принципово різний вплив на циркадну систему залежно від свого спектрального складу.

Марк Реа та його колеги з Центру дослідження освітлення розробили революційну на нашу думку модель циркадного стимулу (Circadian Stimulus, CS), яка дозволяє кількісно оцінювати біологічну ефективність освітлення [8]. Ця модель враховує не лише інтенсивність світла, а й його спектральний склад, передбачаючи рівень пригнічення секреції мелатоніну — ключового показника активації невізуальної системи.

Паралельно Міжнародна комісія з освітлення (CIE) розробила альтернативну метрику — Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI), яка виражає біологічну ефективність освітлення через еквівалентну освітленість стандартного денного світла [23]. Ця метрика отримала офіційний статус міжнародного стандарту і рекомендується для оцінки циркадних характеристик світлового середовища.

Накопичення наукових даних про невізуальні ефекти світла створило передумови для формування нової парадигми проєктування освітлення, яка отримала назву Human Centric Lighting — людиноцентричне освітлення [4]. Ця концепція передбачає комплексне врахування візуальних, біологічних та емоційних потреб користувачів при створенні світлового середовища.

Принципова відмінність людиноцентричного підходу від традиційного полягає у визнанні динамічності потреб в освітленні. Якщо традиційний підхід передбачав забезпечення стабільних умов освітлення протягом усього періоду використання приміщення, то HCL наголошує на необхідності зміни параметрів світла залежно від часу доби, характеру діяльності та індивідуальних потреб користувачів [4].

Практична реалізація людиноцентричного освітлення передбачає використання динамічних освітлювальних систем, здатних змінювати як інтенсивність, так і спектральний склад випромінювання. Ранкове освітлення має забезпечувати високий циркадний стимул для швидкого пробудження та

активації організму. Денне освітлення підтримує бадьорість та когнітивну продуктивність. Вечірнє освітлення поступово знижує інтенсивність та колірну температуру, мінімізуючи вплив на циркадну систему та сприяючи природній підготовці до сну [8; 10].

Ідеї людиноцентричного освітлення знайшли відображення у низці сучасних нормативних документів та систем сертифікації будівель, про що йтиметься в наступному підрозділі.

Таблиця 2.1 — Порівняння традиційного та людиноцентричного підходів до освітлення

Критерій порівняння	Традиційний підхід	Людиноцентричний підхід (HCL)
Основна мета	Забезпечення видимості для виконання зорових завдань	Комплексна підтримка здоров'я, комфорту та продуктивності користувачів
Виміри впливу світла	Візуальний (єдиний)	Візуальний, біологічний, емоційний
Ключові метрики	Освітленість (лк), рівномірність, CRI, UGR	m-EDI, CS, CCT, динамічні параметри, традиційні метрики
Характер освітлення	Статичне, фіксовані параметри	Динамічне, адаптивне до часу доби та потреб
Колірна температура	Фіксована (зазвичай 4000 К)	Змінна протягом доби (2700-6500 К)
Врахування циркадних ритмів	Не враховується	Центральний елемент проєктування
Управління	Увімкнення/вимкнення, базове димування	Складні сценарії, автоматизація, персоналізація
Типове обладнання	Люмінесцентні лампи, прості LED	Tunable White, SkyBlue, Ketra, smart-системи
Нормативна база	ДБН В.2.5-28:2018, старі редакції EN	EN 12464-1:2021, WELL v2, CIE S 026:2018
Вартість впровадження	Низька	Середня-висока (з тенденцією до зниження)

2.3. Міжнародні стандарти та нормативні акти щодо освітлення

Нормативно-правове регулювання у сфері освітлення відображає еволюцію наукових уявлень про роль світла в архітектурному середовищі. Традиційні стандарти зосереджувались переважно на візуальних аспектах, тоді як сучасні документи дедалі більше уваги приділяють біологічним та

емоційним ефектам освітлення. Цей підрозділ присвячено аналізу основних міжнародних стандартів та їх порівнянню з українською нормативною базою.

Європейський стандарт EN 12464-1:2021. Базовим документом для країн Європейського Союзу у сфері освітлення робочих місць є стандарт EN 12464-1 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1: Внутрішні робочі місця» [21]. У 2021 році було прийнято нову редакцію цього стандарту, яка суттєво розширила перелік вимог порівняно з попередніми версіями.

Стандарт встановлює мінімальні значення освітленості для різних видів діяльності та типів приміщень. Для офісних робочих місць рекомендована освітленість становить 500 люкс на рівні робочого столу; для читальних залів — 500 люкс; для виробничих приміщень — від 200 до 750 люкс залежно від характеру робіт [21]. Поряд з освітленістю нормуються рівномірність, обмеження засліпленості (показник UGR) та мінімальний індекс кольоропередачі.

Принципово важливим в моєму баченні є нововведенням редакції 2021 року стало включення рекомендацій щодо невізуальних ефектів освітлення. Стандарт наголошує на доцільності проектування освітлення з урахуванням його впливу на циркадну систему людини, хоча конкретні кількісні вимоги до циркадних характеристик поки що мають рекомендаційний, а не обов'язковий характер [21]. Також підкреслюється важливість максимального використання природного світла та забезпечення візуального зв'язку із зовнішнім середовищем.

WELL Building Standard v2. Значно більш детально вимоги до людиноцентричного освітлення розроблено у міжнародній системі сертифікації будівель WELL Building Standard, розробленій Міжнародним інститутом WELL [24]. На відміну від традиційних будівельних стандартів, WELL зосереджується саме на впливі архітектурного середовища на здоров'я та благополуччя користувачів.

Розділ «Світло» стандарту WELL v2 містить низку обов'язкових та додаткових вимог. Ключовою є вимога L03 «Циркадне світлове середовище», яка встановлює мінімальні рівні меланопічної освітленості для забезпечення денного циркадного стимулу [24]. Згідно з цією вимогою, на рівні очей користувача має забезпечуватись щонайменше 150-240 одиниць Melanopic EDI (m-EDI) протягом мінімум чотирьох годин у першій половині дня.

Ця вимога має принципове практичне значення. Для її виконання недостатньо просто забезпечити високий рівень освітленості — необхідно також контролювати спектральний склад випромінювання. Традиційні лампи розжарювання та багато світлодіодних джерел з теплою колірною температурою не забезпечують достатнього циркадного стимулу навіть при високих рівнях освітленості. Натомість джерела з оптимізованим спектром можуть досягати необхідних значень m-EDI при меншій загальній освітленості [27].

Стандарт WELL також включає вимоги щодо управління засліпленістю та забезпечення якісного штучного освітлення (L04), електричного освітлення (L05), візуального балансу (L06), а також рекомендації щодо забезпечення доступу до денного світла (L01) та можливості індивідуального контролю освітлення (L08) [24].

Стандарт ISO/CIE 8995-1:2025. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) спільно з Міжнародною комісією з освітлення (CIE) розробляє стандарти, що мають глобальне застосування. У 2025 році очікується прийняття нової редакції стандарту ISO/CIE 8995-1 «Освітлення робочих місць», яка інтегрує найновіші наукові дані про невізуальні ефекти світла [22].

Цей стандарт має стати важливим кроком до гармонізації вимог щодо людиноцентричного освітлення на міжнародному рівні. Очікується, що він включатиме обов'язкові вимоги до меланопічної освітленості для певних категорій приміщень, а також рекомендації щодо динамічного освітлення, що імітує природні зміни денного світла [22].

Стандарт СІЕ S 026:2018.Окремого згадування заслуговує технічний стандарт СІЕ S 026:2018 «Система метрології оптичного випромінювання для ipRGC-опосередкованих реакцій на світло» [23]. Цей документ встановлює єдину методологію кількісного оцінювання впливу освітлення на меланопсинову систему невізуальної фоторецепції.

Стандарт вводить поняття п'яти α -опічних величин, що характеризують стимуляцію різних типів фоторецепторів: S-колбочок (S-opic), M-колбочок (M-opic), L-колбочок (L-opic), паличок (rhodopic) та ipRGCs (melanopic) [23]. Для практичного застосування найбільше значення має саме меланопічна величина, що визначає вплив світла на циркадну систему.

Метрика Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI), визначена цим стандартом, стала основою для формулювання вимог у WELL та інших системах сертифікації. Вона виражає біологічну ефективність освітлення через освітленість, яку мало б забезпечити стандартне денне світло (Illuminant D65) для досягнення еквівалентного впливу на ipRGCs [23].

Українська нормативна база. Основним нормативним документом у сфері освітлення в Україні є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [25]. Цей документ встановлює вимоги до проектування освітлення будівель та споруд різного функціонального призначення і є обов'язковим для застосування на території України.

ДБН В.2.5-28:2018 базується переважно на традиційному підході до нормування освітлення. Основними нормованими параметрами є освітленість робочих поверхонь, коефіцієнт природної освітленості, показник дискомфорту та коефіцієнт пульсації освітленості [25]. Для різних категорій приміщень та видів діяльності встановлено мінімальні значення цих параметрів.

Порівняння з європейськими та міжнародними стандартами виявляє суттєві розбіжності. По-перше, український документ не містить жодних вимог чи рекомендацій щодо невізуальних ефектів освітлення та його впливу на циркадну систему. По-друге, відсутні положення щодо динамічного

освітлення та можливості зміни його параметрів протягом доби. По-третє, не враховуються сучасні метрики оцінки якості освітлення, такі як m-EDI або Circadian Stimulus [25].

Таблиця 2.2 — Порівняльна характеристика міжнародних стандартів освітлення

Параметр	EN 12464-1:2021	WELL v2 (L03)	CIE S 026:2018	ДБН В.2.5-28:2018
Статус документа	Європейський стандарт	Система сертифікації будівель	Технічний стандарт CIE	Державні будівельні норми України
Обов'язковість	Обов'язковий у країнах ЄС	Добровільний	Рекомендаційний	Обов'язковий в Україні
Вимоги до освітленості	Диференційовані за видами діяльності (100-1000 лк)	Відповідність базовим нормам освітленості	Не регулює	Диференційовані (50-500 лк)
Меланопічна освітленість	Рекомендації (не обов'язково)	150-240 m-EDI мінімум 4 год/день	Методологія визначення m-EDI	Відсутнє
Динамічне освітлення	Рекомендації щодо можливості реалізації	Заохочується, додаткові бали	Не регулює	Відсутнє
Обмеження мерехтіння	$SVM \leq 0.4-0.9$	$Pst \leq 1.0, SVM \leq 1.0$	Не регулює	Коефіцієнт пульсації $\leq 10-20\%$
Колірна температура	Рекомендації за типами приміщень	ССТ за призначенням простору	Методологія оцінки	Не регулює
Біофільний дизайн	Рекомендації	Інтеграція природного світла обов'язкова	Не регулює	Коефіцієнт природної освітленості
Рік останнього оновлення	2021	2020 (постійні оновлення)	2018	2018

Така ситуація зумовлена тим, що чинна редакція ДБН розроблялась без урахування наукових досягнень останніх десятиліть у галузі фотобіології та людиноцентричного освітлення. У контексті євроінтеграційних процесів та необхідності гармонізації нормативної бази з європейськими стандартами актуальним є перегляд ДБН В.2.5-28 із включенням вимог щодо циркадних характеристик освітлення.

Також в Україні діє ДСТУ EN 12464-1:2016, який є перекладом європейського стандарту попередньої редакції [26]. Проте цей документ має статус добровільного застосування і не оновлювався відповідно до редакції 2021 року.

Аналіз міжнародних стандартів дозволяє визначити ключові напрями необхідного оновлення української нормативної бази:

Включення вимог до меланопічної освітленості для приміщень, де люди перебувають протягом тривалого часу (офіси, навчальні заклади, медичні установи). Мінімальний рекомендований рівень може бути встановлений на позначці 150-200 m-EDI протягом ранкових та денних годин, відповідно до рекомендацій WELL [24].

Введення рекомендацій щодо динамічного освітлення, що передбачає зміну колірної температури та інтенсивності світла протягом доби. Для нових будівель громадського призначення може бути встановлена вимога щодо технічної можливості реалізації таких сценаріїв.

Посилення вимог до обмеження мерехтіння освітлення, що особливо важливо для приміщень, де перебувають люди з підвищеною чутливістю нервової системи, зокрема реабілітаційних та медичних закладів [32].

Включення рекомендацій щодо біофільного дизайну освітлення, максимального використання природного світла та забезпечення візуального зв'язку із зовнішнім середовищем [30].

Висновки до розділу 2

Проведений нами аналіз теоретико-методологічних засад інноваційного освітлення інтер'єрів дозволяє сформулювати низку важливих висновків.

Сутність інноваційного освітлення полягає у комплексному врахуванні візуальних, біологічних та емоційних ефектів світла на людину. На відміну від традиційного підходу, що зосереджувався на забезпеченні достатньої освітленості для виконання зорових завдань, сучасна парадигма розглядає

світло як потужний модулятор фізіологічного та психологічного стану користувачів [1; 4; 8]. Ключовим науковим підґрунтям цього підходу є відкриття меланопсинової системи невізуальної фоторецепції, яка опосередковує вплив світла на циркадні ритми, вироблення гормонів та рівень бадьорості [9].

Для України проблематика інноваційного освітлення набуває особливої актуальності у зв'язку з унікальним поєднанням викликів: енергетичною кризою, що вимагає максимальної енергоефективності освітлювальних систем [42; 43]; потребою в розбудові реабілітаційної інфраструктури для військовослужбовців та цивільного населення [38]; необхідністю забезпечення комфортного перебування в укриттях та приміщеннях без природного освітлення.

Еволюція підходів до проектування освітлення відображає поступовий перехід від суто технічного розуміння світла як засобу забезпечення видимості до комплексної концепції людиноцентричного освітлення (Human Centric Lighting) яка в моєму розумінні є неймовірно важливою. Ключовими віхами цієї еволюції стали: усвідомлення психологічних ефектів освітлення у дослідженнях 1970-90-х років [5; 6; 7]; біологічний поворот, пов'язаний із відкриттям ipRGCs на початку 2000-х [9]; формування концепції HCL та нових метрик оцінки освітлення (m-EDI, Circadian Stimulus) [8; 23].

Аналіз міжнародних стандартів засвідчує тенденцію до включення вимог щодо невізуальних ефектів освітлення в нормативні документи. Найбільш розвинутою системою вимог є WELL Building Standard v2, який встановлює конкретні значення меланопічної освітленості для забезпечення денного циркадного стимулу [24]. Європейський стандарт EN 12464-1:2021 також містить рекомендації щодо врахування циркадних ефектів, хоча вони мають менш обов'язковий характер [21].

Українська нормативна база у сфері освітлення (ДБН В.2.5-28:2018) базується на традиційному підході і не враховує сучасних наукових даних про невізуальні ефекти світла [25]. Це створює розрив між науковими знаннями

та практикою проєктування і потребує уваги при оновленні нормативних документів в контексті євроінтеграційних процесів. Ключовими напрямками гармонізації є введення вимог до меланопічної освітленості, рекомендацій щодо динамічного освітлення та положень про біофільний дизайн.

Проведений аналіз створює теоретичне підґрунтя для подальшого розгляду конкретних інноваційних технологій освітлення та можливостей їх практичного застосування в різних типах приміщень.

РОЗДІЛ 3

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОСВІТЛЕННЯ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

3.1. Спектрально-селективні технології освітлення

Розвиток напівпровідникових технологій освітлення створив принципово нові можливості для управління спектральним складом світла. На відміну від традиційних джерел, спектр яких не підлягав регулюванню, сучасні світлодіодні системи дозволяють гнучко формувати бажаний спектральний розподіл потужності з урахуванням біологічних ефектів світла на організм людини.

Сучасні LED-системи демонструють світлову ефективність 150-200 лм/Вт і більше, що суттєво перевищує показники ламп розжарювання (10-15 лм/Вт) та люмінесцентних ламп (60-100 лм/Вт) [3; 37]. Це забезпечує економію електроенергії до 75-80%. Сучасні високоякісні світлодіоди досягають значень CRI 95-98, що наближається до показників ламп розжарювання [3].

Особливої уваги, на мою думку, заслуговує технологія OLED — органічних світловипромінюючих діодів. На відміну від точкових LED-джерел, OLED-панелі створюють рівномірне площинне випромінювання з м'яким розсіяним світлом. Amber OLED-панелі практично не містять синього компонента, що робить їх оптимальним вибором для вечірнього освітлення [3].

Технологія Tunable White. Базовим рівнем управління спектром є технологія Tunable White, яка дозволяє змінювати колірну температуру білого світла в діапазоні 2700-6500 К [27]. Технічно це реалізується поєднанням «теплих» (2700-3000 К) та «холодних» (5700-6500 К) світлодіодів. Тепле

світло використовується для затишної атмосфери ввечері, холодне — для бадьорості вдень [5; 6].

Проте технологія має суттєве обмеження: змішування теплого та холодного світла забезпечує контроль лише над візуальним відтінком, але не дозволяє незалежно оптимізувати біологічну ефективність випромінювання. Два джерела з однаковою колірною температурою можуть мати принципово різний вплив на циркадну систему [8].

Технологія SkyBlue. Принципово інший підхід реалізовано в технології SkyBlue компанії BIOS Lighting — дочірньої структури NASA [27]. Ключовою особливістю є додатковий спектральний пік на довжині хвилі 490 нм, що відповідає максимуму чутливості ipRGCs. Цей пік «вбудовується» у спектр білого світлодіода, не змінюючи візуального відтінку.

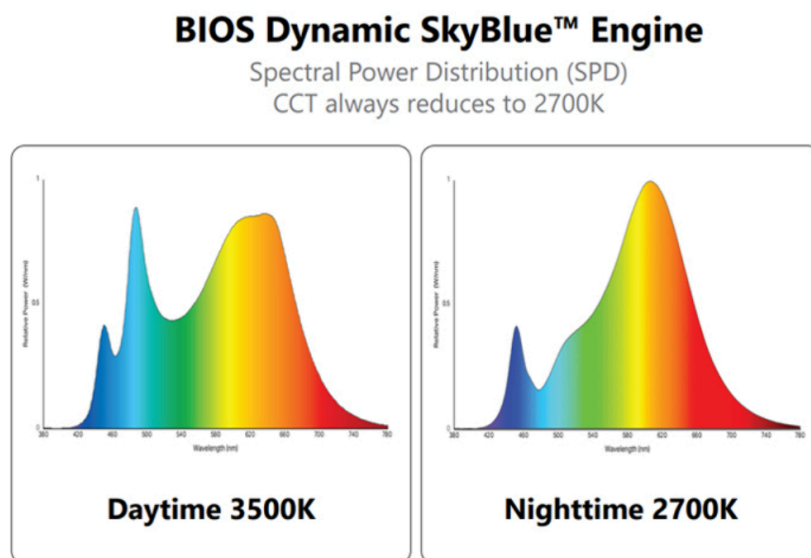


Рис. 1.1 Схема діапазонів роботи системи СкайБлю

<https://www.axislighting.com/bios-skyblue>

Вважаю, що практичне значення цієї технології надзвичайно важливе — вона дозволяє створювати біологічно активне освітлення без використання холодного, візуально некомфортного світла. Світильники з технологією SkyBlue пропонують USAI Lighting та Meteor Lighting у форматах стандартних даунлайтів та панелей [27].

Технологія Ketra Dynamic Spectrum. Ще більш досконалий рівень управління спектром реалізовано в системі Ketra (Lutron Electronics) [28]. Світильники використовують чотири і більше незалежних спектральних каналів (RGBW), що дозволяє генерувати практично будь-яку точку на колірній діаграмі.

Унікальною на мою думку, функцією є Natural Dimming: при зниженні яскравості світло поступово змінює спектр у бік янтарних відтінків, досягаючи колірної температури близько 1400 К [28]. Це має важливе значення для вечірнього освітлення, оскільки янтарне світло нижче 2000 К мінімально впливає на секрецію мелатоніну [8]. Додаткова функція Vibrancy дозволяє управляти насиченістю кольорів освітлюваних об'єктів [28].

Таблиця 3.1 — Порівняльна характеристика спектрально-селективних технологій освітлення

Характеристика	Tunable White	BIOS SkyBlue	Ketra Dynamic Spectrum
Принцип дії	Змішування теплих (2700 К) та холодних (6500 К) LED	Додатковий спектральний пік 490 нм у білому світлі	Багатоканальна система RGBW (4+ канали)
Діапазон CCT	2700-6500 К	3000-5000 К (візуально)	1400-10000 К
Меланопічна ефективність	Залежить від CCT (низька при теплому світлі)	Висока при будь-якій CCT	Програмована, висока гнучкість
Natural Dimming	Відсутнє	Відсутнє	Так (до 1400 К при димванні)
Функція Vibrancy	Відсутня	Відсутня	Так (управління насиченістю кольорів)
Візуальний комфорт	Добрий	Високий (тепле біологічно активне світло)	Найвищий
CRI (типовий)	80-90	90-95	95-98
Сумісність з WELL	Умовна (потребує холодних режимів)	Повна (висока m-EDI при теплому світлі)	Повна
Цінова категорія	\$ (доступна)	\$\$ (середня)	\$\$\$ (преміум)
Доступність в Україні	Широка (масовий ринок)	Обмежена (імпорт)	Обмежена (імпорт)
Оптимальне застосування	Житло, базові комерційні об'єкти	Офіси, медичні заклади, освіта	Елітне житло, готелі, музеї, ресторани
Виробники	Philips, Osram, Xiaomi, IKEA та ін.	USAI Lighting, Meteor Lighting, Kenall	Lutron (Ketra)

Порівняння технологій. Tunable White є найдоступнішим рішенням для житлових та комерційних приміщень. BIOS SkyBlue оптимальна для офісів, навчальних закладів та медичних установ, де потрібен високий циркадний стимул при візуальному комфорті — ця технологія дозволяє виконати вимоги стандарту WELL [24]. Ketra Dynamic Spectrum представляє преміальний сегмент для елітного житла, готелів, музеїв. На мій погляд, для українського контексту ключовим фактором залишається доступність обладнання. Базові Tunable White-рішення широко представлені на ринку. Технології SkyBlue та Ketra потребують імпорту, що підвищує вартість, проте може бути виправданим для реабілітаційних центрів та інших пріоритетних об'єктів, особливо в умовах зростаючої потреби у просторах відновлення.

3.2. Терапевтичні технології освітлення

Поряд із застосуванням у загальному архітектурному освітленні, світло знайшло специфічне використання як терапевтичний засіб для лікування та полегшення симптомів різноманітних станів. Цей підрозділ присвячено аналізу терапевтичних технологій освітлення, що мають потенціал для інтеграції в дизайн інтер'єру.

Найбільш вивченим терапевтичним застосуванням світла є його використання для лікування сезонного афективного розладу (САР) — депресивного стану, що розвивається в осінньо-зимовий період у зв'язку зі скороченням тривалості світлового дня. Численні рандомізовані контрольовані випробування підтвердили ефективність світлотерапії при САР, і сьогодні вона визнається методом першої лінії лікування поряд з антидепресантами [14].

Стандартний протокол передбачає щоденну експозицію яскравим світлом інтенсивністю 10000 люкс протягом 20-30 хвилин у ранкові години [14]. Така процедура забезпечує потужний циркадний стимул, який компенсує

дефіцит природного світла в зимові місяці і сприяє нормалізації циркадних ритмів та настрою.

Традиційно світлотерапія здійснювалась за допомогою спеціальних настільних ламп — так званих «лайтбоксів», перед якими пацієнт мав сидіти визначений час. Проте сучасні підходи передбачають інтеграцію терапевтичного освітлення безпосередньо в архітектурне середовище. Світильники з технологією BIOS SkyBlue або аналогічні системи можуть забезпечувати достатній рівень меланопічної освітленості в межах звичайної діяльності користувача, без необхідності виділення спеціального часу на процедуру [27].

Таблиця 3.2 — Терапевтичні технології освітлення: параметри та сфери застосування

Технологія	Спектральний діапазон	Терапевтична доза	Тривалість сеансу	Клінічно доведена ефективність	Сфери застосування
Світлотерапія яскравим світлом	Повний спектр (переважно 460-490 нм)	10 000 люкс на рівні очей	20-30 хв щодня (ранок)	SAR: 50-80% ремісії; ПТСР: 44% покращення	Лікування SAR, ПТСР, порушень сну, депресії; реабілітаційні центри
Циркадне HCL-освітлення	460-490 нм (пік меланопічної чутливості)	150-240 m-EDI	4+ години протягом дня	Покращення сну, бадьорості, настрою	Офіси, лікарні, школи, будинки престарілих
Вузькосмугова зелена терапія	520 ± 10 нм (FWHM < 20 нм)	50-100 люкс	1-2 години щодня	Зменшення мігрені на 50-60%	Лікування мігрені, фотофобії; кімнати відпочинку
Фотобіомодуляція (PBM) червона	630-670 нм (оптимум 660 нм)	20-100 мВт/см ² , 4-8 Дж/см ²	5-20 хв	Загоєння ран, зменшення запалення	Ванні кімнати, спа, косметологічні кабінети
Фотобіомодуляція (PBM) ІЧ	800-880 нм (оптимум 850 нм)	20-100 мВт/см ² , 6-12 Дж/см ²	10-20 хв	Відновлення м'язів, зняття болю	Реабілітаційні центри, спортзали, спа
Транскраніальна PBM	810 нм	10-50 мВт/см ²	10-20 хв	Когнітивне покращення (досліджується)	Нейрореабілітація, профілактика деменції

Амбер/низькотемпературне	< 2200 К (переважно > 590 нм)	10-50 люкс	Вечірні години	Мінімізація порушень секреції мелатоніну	Спальні, вечірні зони, палати лікарень
--------------------------	----------------------------------	------------	----------------	--	--

Світлотерапія посттравматичного стресового розладу за допомогою світла. Перспективним напрямом є застосування світлотерапії для лікування посттравматичного стресового розладу (ПТСР). Рандомізоване контрольоване випробування за участю ветеранів бойових дій, проведене Янгстедтом та співавторами, продемонструвало значну ефективність чотиритижневого курсу ранкової експозиції яскравим світлом [12]. У групі активної терапії 44,1% учасників продемонстрували клінічно значуще зменшення симптомів ПТСР, тоді як у контрольній групі (плацебо — тьмяне червоне світло) цей показник становив лише 8,6%.

Нейровізуалізаційні дослідження Кілгора та колег виявили, що світлотерапія при ПТСР супроводжується структурними змінами в мозку — зокрема, збільшенням об'єму сірої речовини в мигдалині та інших структурах, залучених до регуляції емоцій [13]. Це свідчить про те, що терапевтичні ефекти світла опосередковуються нейропластичними механізмами і можуть мати довготривалий характер.

Ці результати мають особливе значення для України, де тисячі військовослужбовців та цивільних осіб страждають на ПТСР внаслідок бойових дій [38]. Інтеграція світлотерапевтичних підходів у проєктування реабілітаційних центрів може стати важливим доповненням до традиційних методів лікування.

Вузькосмугова зелена терапія. Інноваційним напрямом є використання вузькосмугового зеленого світла для лікування мігрені та фотофобії. Дослідження професора Рамі Бурштейна з Гарвардської медичної школи виявили унікальну властивість світла у діапазоні близько 520 нанометрів [16; 17].

Зелене світло 520 нм, на відміну від синього, білого та червоного, генерує мінімальну електричну відповідь у нейронах таламуса — структури мозку, що передає больові сигнали [16]. Клінічні дослідження засвідчили, що регулярна експозиція зеленим світлом протягом 1-2 годин на день зменшує кількість нападів мігрені на 50-60% та знижує інтенсивність болю [17]. Механізм цього ефекту пов'язують із залученням ендогенних опіоїдних систем.

Критично важливою є чистота спектру: звичайні RGB-лампи можуть містити домішки синього випромінювання, що активує больові шляхи [16]. Для терапії необхідні спеціалізовані джерела з вузькою спектральною смугою ($\text{FWHM} < 20 \text{ нм}$) і піком на 520 нм, які пропонують виробники Allay та Nooga. Оптимальним рішенням є створення «зеленої гавані» — простору зі спеціалізованим освітленням та світлоізоляційними шторами.

Фотобіомодуляція (PBM) — терапевтичне застосування низькоінтенсивного червоного та ближнього інфрачервоного світла для стимуляції клітинних процесів [18]. На відміну від циркадних ефектів, PBM діє безпосередньо на тканини через поглинання світла мітохондріальними ферментами.

Основним хромофором є цитохром-с-оксидаза. Поглинання фотонів червоного (600-700 нм) та ближнього ІЧ (800-1000 нм) світла призводить до збільшення синтезу АТФ та модуляції внутрішньоклітинних сигнальних шляхів [18]. Клінічні застосування включають прискорення загоєння ран, зменшення м'язового болю, покращення стану шкіри [19]. Транскраніальна PBM досліджується як метод лікування черепно-мозкових травм [20].

Головна перешкода інтеграції PBM у архітектурне освітлення — необхідність забезпечення достатнього іррадіансу ($20\text{-}100 \text{ мВт/см}^2$), недосяжного для звичайних стельових світильників [18]. Тому PBM реалізується через локальні зони: панелі в дзеркалах ванних кімнат, настінні панелі в душових для повнотілого опромінення, спеціалізовані крісла у спа-зонах. Провідні виробники — Joovv, Rouge та Red Light Man [19].

Синтез терапевтичних підходів у проектуванні. Комплексний підхід до проектування терапевтичного освітлення передбачає інтеграцію різних технологій залежно від функціонального призначення простору. Денні зони (вітальні, робочі кабінети, громадські простори) мають забезпечувати високий циркадний стимул для підтримання бадьорості за допомогою технологій типу SkyBlue або високоякісного Tunable White з можливістю холодних режимів.

Зони відпочинку та спальні потребують освітлення з мінімальним впливом на циркадну систему — теплого світла з колірною температурою нижче 2700 К, в ідеалі з функцією Natural Dimming до янтарних відтінків. Для людей з мігренню доцільно передбачити можливість перемикання на зелене освітлення 520 нм.

Ванні кімнати та спа-зони можуть включати РВМ-елементи для регенеративного впливу під час щоденних гігієнічних процедур. Час перебування перед дзеркалом (5-10 хвилин) та близька відстань до джерела світла (30-50 см) дозволяють досягати терапевтичного іррадіансу без спеціального виділення часу на процедури.

3.3. Smart-системи освітлення та IoT-інтеграція

Реалізація концепції людиноцентричного освітлення потребує не лише відповідних джерел світла, а й інтелектуальних систем управління, здатних автоматично адаптувати параметри освітлення до потреб користувачів, часу доби та контексту діяльності. Сучасні smart-системи освітлення інтегрують датчики, алгоритми машинного навчання та мережеву інфраструктуру для створення адаптивного світлового середовища.

Основою будь-якої smart-системи освітлення є комунікаційний протокол, що забезпечує обмін даними між світильниками, датчиками та центральним контролером. На сьогодні співіснують кілька конкуруючих технологій з різними характеристиками та сферами застосування.

Zigbee — один із найпоширеніших протоколів для домашньої автоматизації, що використовує mesh-топологію мережі [36]. Кожен пристрій може виступати ретранслятором сигналу, що забезпечує надійне покриття великих приміщень. Zigbee характеризується низьким енергоспоживанням і підходить для батарейних пристроїв (датчики руху, вимикачі). На цьому протоколі базується популярна система Philips Hue, а також рішення ІКЕА TRÅDFRI та багатьох інших виробників.

Z-Wave — альтернативний протокол з подібною mesh-архітектурою, але закритою специфікацією, що гарантує сумісність пристроїв від різних виробників [36]. Z-Wave працює на частотах нижче 1 ГГц, що забезпечує кращу проникність сигналу через стіни порівняно з Zigbee (2,4 ГГц).

Thread — сучасний протокол, розроблений за участю Google, Apple та інших технологічних гігантів як основа для стандарту Matter [36]. Thread також використовує mesh-топологію, але базується на IPv6, що спрощує інтеграцію з інтернет-сервісами. Очікується, що Thread/Matter стане домінуючим стандартом для smart-будинків у найближчі роки, оскільки забезпечує кросплатформну сумісність між екосистемами Apple HomeKit, Google Home та Amazon Alexa.

Wi-Fi залишається популярним для smart-ламп початкового рівня завдяки можливості підключення без додаткового хаба [36]. Проте Wi-Fi-пристрої споживають більше енергії і можуть перевантажувати домашні роутери при великій кількості підключень.

Для житлових приміщень доступні численні рішення з різним рівнем складності та функціональності.

Home Assistant — потужна платформа домашньої автоматизації з відкритим кодом, що підтримує інтеграцію практично з усіма протоколами та пристроями [36]. Особливої уваги заслуговує розширення Adaptive Lighting, яке автоматично регулює яскравість та колірну температуру освітлення залежно від положення сонця для конкретної географічної локації. Система

розраховує оптимальні параметри світла на кожен момент часу, імітуючи природні зміни денного освітлення.

Apple HomeKit з функцією Adaptive Lighting пропонує спрощену версію циркадної автоматизації для екосистеми Apple. Сумісні лампи (Philips Hue, Nanoleaf, Eve та інші) автоматично змінюють колірну температуру протягом дня: холодніше вранці для бадьорості, тепліше ввечері для підготовки до сну. Налаштування виконується автоматично без потреби в складному програмуванні.

WiZ Connected — доступна система від Signify (материнської компанії Philips), яка пропонує smart-лампи з Wi-Fi-підключенням та попередньо налаштованими режимами, включаючи «Circadian Rhythm» [36]. Це дозволяє отримати базову функціональність циркадного освітлення без технічних знань та значних інвестицій.

Професійні системи для комерційних об'єктів. Комерційні та громадські будівлі потребують професійних систем управління освітленням з розширеними можливостями.

Протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface) є галузевим стандартом для управління освітленням у комерційних будівлях [36]. DALI-2 та D4i (DALI for IoT) забезпечують двосторонню комунікацію між контролером та світильниками, дозволяючи не лише передавати команди, а й отримувати дані про стан ламп (напрацювання, справність, споживання енергії).

Lutron — провідний виробник професійних систем управління освітленням, чий портфель включає рішення від житлового сегменту (Caseta, RA2 Select) до масштабних комерційних інсталяцій (Quantum, Vive) [28]. Системи Lutron відзначаються високою надійністю та бездоганною інтеграцією з технологією Ketra.

AI-керовані системи та персоналізація. Новітнім напрямом розвитку smart-освітлення є застосування алгоритмів машинного навчання для персоналізації світлового середовища. Такі системи аналізують патерни

поведінки користувачів — час пробудження та відходу до сну, періоди активності та відпочинку, переваги щодо освітлення — і автоматично адаптують сценарії під індивідуальні потреби [35].

Наприклад, система може виявити, що користувач регулярно прокидається о 6:30 у будні та о 8:00 у вихідні, і відповідно коригувати час початку ранкової світлової активації. Або помітити, що ввечері користувач надає перевагу теплішому світлу, ніж передбачено стандартним алгоритмом, і відкоригувати криву зміни колірної температури.

Ринок AI-керованого освітлення активно зростає і, за прогнозами аналітиків, досягне обсягу 12,7 мільярда доларів до 2028 року [35]. Основними драйверами зростання є прагнення до енергоефективності, підвищення комфорту та інтеграція освітлення з іншими системами розумного будинку.

Технологія Li-Fi. Особливої уваги заслуговує технологія Li-Fi (Light Fidelity) — бездротова передача даних за допомогою модульованого видимого світла [36]. На відміну від Wi-Fi, що використовує радіочастотний діапазон, Li-Fi передає інформацію через швидкі зміни інтенсивності світлодіодного випромінювання, непомітні для людського ока.

Li-Fi має низку потенційних переваг: значно вища швидкість передачі даних (теоретично до 224 Гбіт/с у лабораторних умовах); відсутність радіочастотних перешкод; підвищена безпека (сигнал не проходить через стіни); можливість використання в середовищах, де радіохвилі небажані (лікарні, літаки, промислові об'єкти) [36].

У 2023 році IEEE затвердив стандарт 802.11bb для Li-Fi, що відкриває шлях до масового впровадження технології. За прогнозами, ринок Li-Fi зросте з поточних значень до 7,7-32 мільярдів доларів до 2030 року (оцінки різних аналітичних агентств відрізняються) [36].

Практичне значення Li-Fi для архітектурного освітлення полягає у можливості перетворення кожного світильника на точку доступу до мережі. Це особливо актуально для приміщень з високою щільністю користувачів

(офіси, конференц-зали, аеропорти), де традиційні Wi-Fi-мережі можуть перевантажуватись.

3.4. Біофільний дизайн та компенсація природного світла

Біофільний дизайн базується на гіпотезі про вроджену потребу людини у зв'язку з природним середовищем [30]. У контексті освітлення цей підхід передбачає максимальне використання природного світла, імітацію його характеристик у штучному освітленні та створення візуального зв'язку із зовнішнім світом. Особливої актуальності біофільні рішення набувають для приміщень без вікон — підвальних просторів, укриттів, глибоких зон великих будівель.

Психофізіологічне значення природного світла. Природне денне світло є ідеальним з точки зору біологічних потреб людини. Його спектральний склад еволюційно відповідає чутливості зорової та циркадної систем; динаміка зміни інтенсивності та колірної температури протягом дня забезпечує синхронізацію біологічних ритмів; зв'язок із зовнішнім середовищем задовольняє базову психологічну потребу в орієнтації та безпеці [30].

Дослідження демонструють, що перебування в приміщеннях з достатнім природним освітленням асоціюється з кращим настроєм, вищою продуктивністю та меншим рівнем стресу порівняно з приміщеннями без вікон [4; 7]. Особливо чутливими до дефіциту природного світла є люди з депресивними розладами та тривожністю.

На нашу думку для українського контексту це має особливе значення у зв'язку з необхідністю тривалого перебування в укриттях під час повітряних тривог. Підвальні приміщення, як правило, повністю позбавлені природного освітлення, що створює несприятливі умови для психологічного комфорту, особливо при тривалому перебуванні.

Технології віртуальних вікон. Сучасні технології дозволяють частково компенсувати відсутність природного світла за допомогою віртуальних вікон — дисплеїв або проєкційних систем, що відтворюють зображення зовнішнього середовища [30; 31].

Sky Factory eEscape — система цифрових вікон та стельових панелей, що використовує високоякісну відеозйомку реального неба та природних ландшафтів [31]. Зображення записуються спеціальними камерами під кутами, що відповідають природному погляду вгору або назовні. Дисплеї встановлюються в спеціальних рамах, що імітують справжні вікна, і створюють переконливу ілюзію відкритого простору.



Рис. 1.2- 1.3 Демонстрація роботи та запису матеріалу СкайФакторі

<https://skyfactory.com/product/escape-digital-virtual-window/>

Дослідження засвідчують, що віртуальні вікна Sky Factory викликають фізіологічні реакції, подібні до реакцій на справжні види природи: зниження артеріального тиску, зменшення частоти серцевих скорочень, суб'єктивне відчуття розслаблення [31]. Ефект пояснюється активацією механізму «Prospect and Refuge» — еволюційно закріпленої потреби мати огляд простору і водночас відчувати захищеність.

Atmosph Window — серія вертикальних 4К-дисплеїв, що імітують вікна з видами на різноманітні локації з усього світу [31]. Пристрій пропонує понад 1900 відеосцен: від міських пейзажів до природних ландшафтів та фантастичних світів. Функція Face-View Follow створює ефект паралаксу —

зображення зміщується залежно від положення глядача, посилюючи ілюзію тривимірного простору за вікном.

Проекційні рішення для імерсивних середовищ. Для створення більш масштабних імерсивних ефектів використовуються проекційні системи.

Broomx MK360 — проєктор, здатний покривати 360-градусний простір (стіни та стелю) одним пристроєм [31]. Це дозволяє повністю трансформувати візуальне сприйняття кімнати, перетворюючи її на ліс, підводний світ, космічний простір тощо. Система активно використовується в реабілітаційних центрах, закладах для людей похилого віку та сенсорних кімнатах для людей з особливими потребами.

Домашні планетарії, такі як Sega Homestar Flux, створюють реалістичну проєкцію зоряного неба на стелю [31]. Повільний рух зірок та заспокійливе візуальне середовище сприяють розслабленню та засинанню. Це простий та доступний інструмент для покращення якості сну, особливо в умовах стресу.

Застосування в укриттях та підземних просторах. Для українських укриттів та підземних просторів біофільні рішення можуть суттєво покращити умови перебування. Комплексний підхід передбачає:

Встановлення віртуальних вікон або екранів з природними сценами для створення візуального зв'язку із зовнішнім світом та зменшення відчуття замкненості. Навіть прості рішення — монітори з відеопетлями природних пейзажів — можуть мати позитивний психологічний ефект.

Синхронізацію штучного освітлення з реальним часом доби для підтримання циркадних ритмів. При тривалому перебуванні під землею важливо, щоб освітлення відповідало зовнішньому світловому дню: яскравіше та холодніше вдень, тепліше та тьмяніше ввечері.

Використання динамічних світлових сценаріїв, що імітують природні зміни — схід сонця, рух хмар, захід. Такі сценарії створюють відчуття плину часу та зв'язку із зовнішнім світом.

Проект CLUST SPACE, реалізований у КПІ (Київ) та ДНУ (Дніпро) і відзначений нагородою Red Dot Design Award 2025, демонструє можливості трансформації підвальних приміщень на комфортні простори для роботи та навчання [39]. Проект включає HCL-системи освітлення, що динамічно змінюють параметри протягом дня, та інші елементи, спрямовані на компенсацію відсутності природного світла.

3.5. Енергоефективні та автономні рішення для умов України

Енергетична криза, спричинена систематичним руйнуванням інфраструктури внаслідок російської агресії, висуває особливі вимоги до освітлювальних систем в Україні. Поряд із загальними характеристиками якості та комфорту, критично важливими стають енергоефективність та здатність функціонувати в умовах нестабільного або відсутнього централізованого електропостачання [42; 43].

Енергоефективність світлодіодного освітлення. Перехід від традиційних джерел світла до світлодіодних технологій є найбільш ефективним заходом зниження енергоспоживання на освітлення. Сучасні LED-системи забезпечують світлову ефективність 150-200 лм/Вт, що у 10-15 разів перевищує показники ламп розжарювання та у 1,5-2 рази — люмінесцентних ламп [3; 37].

У масштабах типової квартири заміна всіх джерел світла на LED може скоротити споживання електроенергії на освітлення на 75-80%. Для країни в умовах дефіциту генеруючих потужностей масовий перехід на LED-освітлення є одним із найбільш швидко реалізовуваних заходів енергозбереження.

Поряд із базовою енергоефективністю, важливе значення має інтелектуальне управління освітленням. Датчики присутності автоматично вимикають світло у незайнятих приміщеннях; датчики освітленості коригують інтенсивність штучного світла залежно від рівня природного;

сценарії автоматизації забезпечують оптимальні режими для різних ситуацій [36]. За оцінками, інтелектуальне управління може додатково знизити енергоспоживання на 20-40% порівняно з простою заміною ламп без автоматизації.

Автономні системи освітлення. В умовах регулярних відключень електроенергії особливої актуальності набувають автономні рішення, здатні функціонувати незалежно від централізованої мережі.

Акумуляторні LED-лампи з вбудованими літій-іонними батареями автоматично перемикаються на автономне живлення при зникненні напруги в мережі. Час роботи від батареї залежить від її ємності та потужності лампи і типово становить від 2-4 годин для компактних моделей до 8-12 годин для спеціалізованих рішень. Такі лампи встановлюються в стандартні патрони E27 або E14 і не потребують додаткового обладнання.

Портативні LED-ліхтарі та лампи на сонячних батареях забезпечують автономне освітлення без прив'язки до електромережі. Денний заряд сонячної панелі дозволяє отримати кілька годин роботи ввечері. Такі рішення особливо актуальні для сільської місцевості та приватних будинків.

Системи резервного живлення (UPS, інвертори з акумуляторами, генератори) дозволяють підтримувати роботу стаціонарного освітлення під час відключень. Сучасні літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) акумулятори відзначаються високою циклічною стійкістю (понад 3000 циклів) та безпекою, що робить їх оптимальним вибором для домашніх систем резервного живлення.

Гібридні рішення. На мою думку оптимальною стратегією для українських умов є поєднання енергоефективного основного освітлення з автономними резервними системами.

Основне освітлення реалізується на базі високоякісних LED-світильників з інтелектуальним управлінням, що мінімізує споживання за нормальних умов. При цьому бажано передбачити можливість роботи

частини світильників від резервного джерела — наприклад, виділити критичні зони (кухня, санвузол, коридор), які підключені до UPS.

Резервне освітлення забезпечується комбінацією акумуляторних ламп у ключових точках та портативних джерел світла для мобільності. Важливо мати достатній запас заряджених пристроїв на випадок тривалих відключень. Сонячні панелі з акумуляторним накопичувачем можуть забезпечити повну автономність освітлення приватного будинку. Потужність системи розраховується виходячи з добового споживання LED-освітлення (яке є доволі скромним — типово 50-100 Вт·год для квартири) та кількості похмурих днів, на які має вистачати запасу.

Економічне обґрунтування. Інвестиції в енергоефективне освітлення швидко окупаються навіть за звичайних тарифів на електроенергію. При заміні 10 ламп розжарювання по 60 Вт на LED по 8 Вт економія становить 520 Вт. За умови роботи освітлення 5 годин на добу річна економія складає близько 950 кВт·год. При тарифі 2,64 грн/кВт·год (станом на 2024 рік) це еквівалентно 2500 грн на рік.

Вартість якісних LED-ламп для такої заміни становить приблизно 1500-2000 грн, отже окупність — менше року. З урахуванням значно довшого терміну служби LED (25000-50000 годин проти 1000 годин для ламп розжарювання) загальна економія за весь період експлуатації є ще суттєвішою.

Для автономних систем економічне обґрунтування залежить від частоти та тривалості відключень. В умовах регулярних блекаутів інвестиції в резервне освітлення є виправданими з точки зору забезпечення базового комфорту та безпеки, навіть якщо формальна «окупність» не розраховується.

Висновки до розділу 3

Проведений аналіз інноваційних технологій освітлення та можливостей їх практичного застосування дозволяє сформулювати низку важливих висновків.

Спектрально-селективні технології відкривають принципово нові можливості для оптимізації світлового середовища з урахуванням біологічних потреб людини. Технологія BIOS SkyBlue дозволяє забезпечувати високий циркадний стимул при комфортній візуальній температурі світла завдяки цільовому підсиленню спектрального компонента на 490 нм [27]. Система Ketra Dynamic Spectrum забезпечує найбільш досконалий контроль спектру з унікальною функцією Natural Dimming, що імітує природну поведінку світла при зниженні яскравості [28]. Вибір конкретної технології залежить від вимог проєкту та бюджету.

Терапевтичні технології мають науково підтвержену ефективність: світлотерапія при САР [14] та ПТСР (44% позитивної відповіді проти 9% плацебо) [12]; зелена терапія 520 нм при мігрені [16; 17]; фотобіомодуляція для регенерації [18; 19].

Smart-системи (Zigbee, Thread/Matter, DALI, Home Assistant) забезпечують технічну базу для людиноцентричного освітлення [36]. AI-керовані системи персоналізують освітлення на основі поведінкових патернів [35].

На мій погляд, проведений аналіз засвідчує, що впровадження сучасних технологій освітлення в Україні потребує врахування специфічних обставин — енергетичної нестабільності та потреб реабілітаційної сфери, — проте є цілком реалістичним і вкрай необхідним для відновлення країни.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО ОСВІТЛЕННЯ В УКРАЇНІ

4.1. Освітлення в реабілітаційних закладах для військових

Масштаби потреб у реабілітації військовослужбовців, що постраждали внаслідок бойових дій, ставлять перед Україною завдання розбудови відповідної інфраструктури на якісно новому рівні. За різними оцінками, десятки тисяч ветеранів потребуватимуть комплексного відновлення — як фізичного, так і психологічного [38]. У цьому контексті проектування світлового середовища реабілітаційних закладів набуває стратегічного значення, оскільки правильно організоване освітлення може суттєво сприяти процесу одужання.

Принципи травма-інформованого дизайну в освітленні. Травма-інформований дизайн (Trauma-Informed Design, TID) — це підхід до проектування середовища, що враховує специфічні потреби людей, які пережили психологічну травму, і мінімізує ризик повторної травматизації або активації травматичних спогадів [32]. У контексті освітлення цей підхід передбачає дотримання низки принципів.

Першим принципом я бачу усунення потенційних тригерів. Для людей з посттравматичним стресовим розладом певні характеристики світлового середовища можуть викликати тривогу або спогади про травматичні події. Зокрема, високочастотне мерехтіння освітлення, навіть якщо воно не сприймається свідомо, може провокувати головний біль, дратівливість та загострення симптомів у людей з підвищеною чутливістю нервової системи [32]. Тому критично важливим є використання джерел світла та драйверів з

мінімальним коефіцієнтом пульсації — менше 1% для найбільш чутливих осіб.

Різкі контрасти та глибокі тіні також можуть створювати відчуття загрози, особливо для людей, які пережили бойові дії. Периферичний зір людини еволюційно налаштований на виявлення руху та потенційної небезпеки, і темні ділянки простору можуть неусвідомлено сприйматися як джерело загрози [32]. Рекомендується використання переважно непрямого (відбитого) освітлення, що створює м'яке, рівномірне світлове середовище без різких тіней.

Другим принципом я бачу забезпечення відчуття безпеки та контролю. Люди з ПТСР часто відчувають втрату контролю над своїм життям, і надання можливості самостійно регулювати параметри середовища може мати терапевтичне значення [32]. У контексті освітлення це означає забезпечення індивідуального контролю над яскравістю та, бажано, колірною температурою світла в особистих просторах (палатах, кімнатах). Прості та інтуїтивно зрозумілі органи управління (димери, сенсорні панелі) мають бути легко доступними з ліжка або крісла.

Третім принципом є створення передбачуваного середовища. Раптові зміни освітлення можуть викликати стресову реакцію. Автоматичні сценарії зміни освітлення протягом доби мають реалізовуватися плавно, без різких переходів. Час на повну зміну параметрів має становити щонайменше 15-30 хвилин для основних переходів (ранкова активація, вечірнє затемнення).

Світлотерапія як компонент реабілітаційного процесу. Наукові дослідження підтверджують ефективність світлотерапії як допоміжного методу лікування посттравматичного стресового розладу. Рандомізоване контрольоване випробування Янгстедта та співавторів які доволі показовими на нашу думку, за участю ветеранів продемонструвало, що чотиритижневий курс ранкової експозиції яскравим світлом призводить до клінічно значущого зменшення симптомів ПТСР у 44% учасників [12]. Контрольна група, яка

отримувала плацебо-терапію тьмяним червоним світлом, показала лише 9% позитивних відповідей.

Механізми терапевтичної дії світла при ПТСР пов'язані з нормалізацією циркадних ритмів, які часто порушуються при цьому розладі. Проблеми зі сном — труднощі засинання, часті пробудження, нічні кошмари — є одними з найпоширеніших симптомів ПТСР [12]. Ранкова експозиція яскравим світлом сприяє стабілізації циклу сну-неспанья, що позитивно впливає на загальний стан пацієнтів.

Нейровізуалізаційні дослідження Кілгора виявили, що світлотерапія супроводжується структурними змінами в мозку — збільшенням об'єму сірої речовини в мигдалині та інших структурах лімбічної системи [13]. Це свідчить про те, що терапевтичні ефекти опосередковуються нейропластичними механізмами і можуть мати довготривалий характер.

Практична реалізація світлотерапії в реабілітаційних закладах може здійснюватися двома шляхами. Перший — обладнання спеціалізованих кабінетів світлотерапії з потужними джерелами світла (10000 люкс на рівні очей) для проведення регламентованих сеансів. Другий — інтеграція біологічно активного освітлення безпосередньо в архітектурне середовище закладу за допомогою технологій типу BIOS SkyBlue [27], що забезпечує терапевтичний циркадний стимул у процесі звичайної діяльності пацієнтів.

Аналіз міжнародного досвіду проектування реабілітаційних закладів для ветеранів дозволяє виявити успішні практики, які можуть бути адаптовані для українського контексту.

Медичний центр VA Palo Alto (США) є одним із провідних закладів системи охорони здоров'я ветеранів Сполучених Штатів [33]. При проектуванні нових корпусів особлива увага приділялась якості світлового середовища. Застосовано максимальне використання природного освітлення через великі вікна та світлові колодязі; динамічне штучне освітлення з автоматичною зміною колірної температури протягом доби; індивідуальний

контроль освітлення в палатах; спеціалізовані простори для світлотерапії та релаксації.

Центр реабілітації Beit Halochem (Ізраїль) спеціалізується на відновленні ветеранів Армії оборони Ізраїлю [34]. Проектування закладу враховувало принципи травма-інформованого дизайну, включаючи продуману організацію освітлення. Використано м'яке непряме освітлення в загальних зонах; теплі тони світла для створення домашньої атмосфери; можливість повного затемнення в кімнатах відпочинку; інтеграцію природних елементів та біофільного дизайну.

Chromaviso (Данія) — компанія, що спеціалізується на циркадному освітленні для медичних закладів [29]. Їхні рішення впроваджено в численних лікарнях та реабілітаційних центрах Скандинавії. Система забезпечує автоматичну зміну інтенсивності та спектрального складу освітлення відповідно до часу доби, імітуючи природний хід сонця. Клінічні дослідження підтвердили позитивний вплив на якість сну пацієнтів та скорочення тривалості госпіталізації.

Рекомендації для українських реабілітаційних центрів. На основі аналізу наукових даних та міжнародного досвіду можна сформулювати практичні рекомендації щодо проектування освітлення реабілітаційних закладів для військових в Україні.

Загальні простори (холи, коридори, їдальні) мають бути обладнані системами динамічного освітлення з автоматичною зміною параметрів протягом доби. Ранкові години (7:00-10:00) — яскраве світло з високим меланопічним стимулом (колірна температура 4000-5000 К, освітленість 300-500 люкс) для активації організму. Денний час (10:00-17:00) — комфортне робоче освітлення (4000 К, 300-400 люкс). Вечірні години (17:00-22:00) — поступове зниження яскравості та колірної температури до теплих тонів (2700-3000 К, 100-200 люкс). Нічний час — мінімальне чергове освітлення теплих тонів (2200-2700 К) для безпечної орієнтації без порушення сну.

Палати та особисті кімнати мають забезпечувати максимальний індивідуальний контроль. Обов'язковими є: димер для регулювання яскравості; можливість вибору колірної температури (тепла/нейтральна); нічник з теплим світлом біля ліжка; можливість повного затемнення. Органи управління мають бути доступними з ліжка без необхідності вставати.

Терапевтичні зони для проведення сеансів світлотерапії обладнуються спеціалізованими джерелами з освітленістю до 10000 люкс. Оптимальним є поєднання індивідуальних лайтбоксів для цільових сеансів та загального біологічно активного освітлення простору. Також доцільно передбачити зону з зеленим освітленням 520 нм для пацієнтів з мігренню та фотофобією.

Зони відпочинку та релаксації проєктуються з акцентом на м'яке, тепле освітлення, що сприяє розслабленню. Доцільним є використання непрямого освітлення з відбиттям від стелі та стін; елементів біофільного дизайну (імітація природного світла, віртуальні вікна); можливості повного затемнення для медитації та сну.

Технічні вимоги до обладнання включають: коефіцієнт пульсації не більше 3% (оптимально менше 1%); індекс кольоропередачі CRI не менше 90; можливість димування в діапазоні 1-100% без мерехтіння; системи резервного живлення для забезпечення мінімального освітлення під час відключень електроенергії.

4.2. Технологічні тренди та прогнози розвитку на 2025-2030 роки

Сфера архітектурного освітлення переживає період динамічних змін, зумовлених конвергенцією кількох технологічних трендів: удосконаленням напівпровідникових джерел світла, розвитком систем штучного інтелекту, поширенням Інтернету речей та зростанням уваги до питань здоров'я та благополуччя. Цей підрозділ присвячено аналізу ключових тенденцій та прогнозуванню розвитку галузі на найближчі роки.

Масове впровадження людиноцентричного освітлення. Концепція Human Centric Lighting, яка ще донедавна сприймалась як інноваційна та експериментальна, швидко переходить до стадії масового впровадження. За прогнозами галузевих аналітиків, до 2027 року системи HCL будуть встановлені у 70% новозбудованих комерційних будівель у розвинених країнах [35].

Основними драйверами цього тренду є:

Посилення нормативних вимог. Стандарти типу WELL Building Standard [24] та оновлені редакції EN 12464 [21] дедалі більше уваги приділяють невізуальним ефектам освітлення. Для отримання сертифікації за системою WELL обов'язковим є забезпечення мінімальних рівнів меланопічної освітленості. Це стимулює девелоперів та проєктувальників до впровадження HCL-рішень.

Зростання обізнаності замовників. Пандемія COVID-19 суттєво підвищила увагу суспільства до питань здоров'я в будівлях. Роботодавці усвідомлюють зв'язок між якістю середовища та продуктивністю працівників, що підвищує попит на рішення, спрямовані на покращення благополуччя.

Зниження вартості технологій. Масове виробництво Tunable White та багатоканальних LED-систем призводить до зниження їхньої вартості. Цінова премія за HCL-функціональність скорочується і вже не є критичним бар'єром для більшості проєктів.

AI-персоналізація освітлення. Наступним етапом розвитку smart-освітлення стане широке застосування алгоритмів машинного навчання для персоналізації світлового середовища. На відміну від поточних систем, що працюють за фіксованими розкладами, AI-керовані рішення здатні адаптуватися до індивідуальних патернів поведінки та переваг користувачів [35].

Система аналізує дані про час пробудження та відходу до сну, періоди активності та відпочинку, реакції на різні режими освітлення — і автоматично коригує сценарії для оптимізації комфорту та ефективності. Для

офісних приміщень це може означати персоналізоване освітлення робочих місць залежно від хронотипу працівника та характеру його завдань.

За прогнозами, ринок AI-керованого освітлення досягне обсягу 12,7 мільярда доларів США до 2028 року [35], демонструючи один із найвищих темпів зростання в галузі. Основні виробники освітлювального обладнання активно інвестують у розробку відповідних рішень.

Розвиток технології Li-Fi. Технологія Li-Fi, яка дозволяє передавати дані за допомогою модульованого світла, переходить від стадії експериментів до комерційного впровадження. Затвердження стандарту IEEE 802.11bb у 2023 році створило нормативну базу для розвитку ринку [36].

Прогнози щодо ринку Li-Fi суттєво відрізняються у різних аналітичних агентств — від 7,7 до 32 мільярдів доларів до 2030 року, що відображає невизначеність щодо темпів впровадження [36]. Проте навіть консервативні оцінки свідчать про значний потенціал технології.

Основними сферами застосування Li-Fi у найближчі роки стануть: авіаційна галузь (передача даних у салонах літаків, де Wi-Fi може створювати перешкоди); медичні заклади (операційні, палати інтенсивної терапії, де радіочастотне випромінювання небажане); промислові об'єкти з високим рівнем електромагнітних перешкод; приміщення з підвищеними вимогами до безпеки даних.

У довгостроковій перспективі Li-Fi може стати стандартною функцією офісного та комерційного освітлення, забезпечуючи додатковий канал комунікації поряд з Wi-Fi.

Інтеграція освітлення з іншими системами будівлі. Тренд на інтеграцію різних інженерних систем будівлі в єдину платформу управління охоплює й освітлення. Сучасні системи автоматизації будівель (Building Management Systems, BMS) дедалі частіше включають управління освітленням як невід'ємну складову [36].

Інтеграція освітлення з системами кондиціонування дозволяє координувати теплове та світлове середовище: наприклад, компенсувати

зниження природного освітлення у похмуру погоду не лише збільшенням штучного світла, а й корекцією температури повітря для підтримання відчуття комфорту.

Інтеграція з системами безпеки та контролю доступу дозволяє автоматично активувати відповідні режими освітлення при вході/виході користувачів, а також реалізовувати сценарії евакуаційного освітлення.

Інтеграція з календарями та системами бронювання приміщень дозволяє заздалегідь налаштувати освітлення для запланованих подій — нарад, презентацій, тренінгів — з урахуванням їхньої специфіки.

Таблиця 4.1 — Прогнози розвитку ринку інноваційного освітлення до 2030 року

Технологія / Сегмент	Обсяг ринку 2024	Прогноз 2027-2030	CAGR	Ключові драйвери
Human Centric Lighting (HCL)	~3,5 млрд USD	~8 млрд USD (2027)	15-18%	Нормативні вимоги WELL, EN; увага до здоров'я в офісах
AI-персоналізоване освітлення	~4 млрд USD	~12,7 млрд USD (2028)	25-30%	IoT-інтеграція, машинне навчання, персоналізація
Li-Fi	~0,5 млрд USD	7,7-32 млрд USD (2030)	40-70%	IEEE 802.11bb; авіація, медицина, безпека
Smart Lighting (загалом)	~18 млрд USD	~35 млрд USD (2028)	12-14%	Matter/Thread протоколи, голосове управління
LED-освітлення (загалом)	~75 млрд USD	~95 млрд USD (2028)	6-8%	Енергоефективність, заборона галогенних ламп
PBM-пристрої (споживчий сегмент)	~0,8 млрд USD	~2,5 млрд USD (2028)	20-25%	Wellness-тренд, anti-aging, домашнє використання
Частка HCL у новому комерційному будівництві (розвинені країни)	~25%	~70% (2027)	—	Сертифікація WELL, LEED, BREEAM

Подальше підвищення енергоефективності. Попри те, що LED-технології вже забезпечують високу енергоефективність, потенціал для подальших покращень залишається. Теоретична межа світлової ефективності для білих LED становить близько 350 лм/Вт, тоді як комерційні продукти сьогодні досягають 150-200 лм/Вт [37]. Подальші дослідження в галузі матеріалознавства та конструкцій чіпів дозволять наблизитися до цієї межі.

Паралельно розвиваються технології управління, що мінімізують непродуктивне споживання. Датчики присутності з високою точністю визначення; алгоритми прогнозування зайнятості приміщень; інтеграція з даними про природне освітлення в режимі реального часу — все це сприяє подальшому зниженню енергоспоживання на освітлення [36].

Розширення терапевтичних застосувань. Терапевтичне використання світла, яке сьогодні обмежується переважно лікуванням сезонного афективного розладу та окремими експериментальними застосуваннями, має потенціал для значного розширення. Активні дослідження тривають у напрямках:

Когнітивне здоров'я. Вивчається вплив циркадного освітлення на когнітивні функції у людей похилого віку та пацієнтів з нейродегенеративними захворюваннями. Попередні результати свідчать про можливість уповільнення когнітивного спаду за допомогою правильно організованого світлового середовища.

Транскраніальна фотобіомодуляція. Дослідження впливу червоного та ближнього ІЧ світла на функції мозку демонструють перспективні результати для реабілітації після черепно-мозкових травм та інсультів [20]. Можлива інтеграція відповідного обладнання в реабілітаційні та домашні простори.

Хронотерапія. Поглиблюється розуміння індивідуальних відмінностей у циркадних ритмах та можливостей їх корекції за допомогою світла. Персоналізовані протоколи світлотерапії можуть стати стандартною практикою для оптимізації сну та продуктивності.

4.3. Українські практики та перспективи впровадження

Попри складні умови воєнного часу, в Україні реалізуються інноваційні проєкти, що демонструють можливості сучасних підходів до освітлення. Аналіз цих практик дозволяє окреслити перспективи подальшого розвитку галузі в країні.

Терапевтичний сад на ВДНГ. Одним із найбільш знакових проєктів останнього часу став Терапевтичний сад на території ВДНГ у Києві, реалізований за участі студії Expolight під керівництвом Миколи Каблуки [38]. Проєкт спрямований на створення простору для реабілітації ветеранів та цивільних осіб, які постраждали внаслідок війни.

Світловий дизайн саду ґрунтується на принципах травма-інформованого підходу. Використано переважно низько розташоване тепле освітлення, інтегроване в ландшафтні елементи — лавки, доріжки, підпірні стінки. Таке розміщення джерел світла мінімізує засліплення та створює м'яке, розсіяне світлове середовище без різких контрастів і тіней.

Колірна температура освітлення обрана в теплому діапазоні (2700-3000 К), що асоціюється з відчуттям безпеки та затишку — подібно до світла вогнища чи заходу сонця. Це сприяє розслабленню та зниженню тривожності відвідувачів.

Проєкт демонструє можливість створення терапевтичних просторів навіть в умовах обмежених ресурсів, використовуючи продумані дизайнерські рішення замість дорогого високотехнологічного обладнання.

Смарт-укриття CLUST SPACE. Проєкт CLUST SPACE, реалізований у Київському політехнічному інституті та Дніпровському національному університеті, отримав міжнародне визнання, здобувши нагороду Red Dot Design Award 2025 [39]. Суть проєкту полягає у трансформації підвальних приміщень — традиційних укриттів від повітряних тривог — на повноцінні простори для роботи та навчання.

Ключовим елементом проєкту є система освітлення, спроектована з урахуванням принципів HCL. Освітлення автоматично змінює свої параметри протягом дня, імітуючи природний хід сонця: яскравіше та холодніше вранці, тепліше та тьмяніше ввечері. Це допомагає підтримувати циркадні ритми студентів, які змушені проводити тривалий час у приміщеннях без природного освітлення.

Проєкт також включає елементи біофільного дизайну — екрани з природними сценами, що створюють візуальний зв'язок із зовнішнім світом та зменшують відчуття замкненості підземного простору.

CLUST SPACE демонструє, що навіть у складних умовах можливе створення якісного середовища, яке не лише забезпечує безпеку, а й підтримує благополуччя користувачів.

Дизайнерські студії та естетика стійкості. Український дизайн в умовах війни сформував унікальну естетику, яку можна назвати «естетикою стійкості» — поєднання функціональності, автономності та емоційного комфорту.

Студія Yalanzhi Objects створює світильники з натуральних матеріалів — зокрема, пап'є-маше з целюлози — у біофільних формах, що нагадують природні об'єкти [40]. Серії «Grono» та «Khmara» характеризуються текстурованими поверхнями, які м'яко розсіюють світло, створюючи заспокійливе візуальне середовище. Тактильність матеріалів та органічність форм сприяють психологічному заземленню — відчуттю зв'язку з реальністю, що є важливим для людей у стані стресу.

Makhno Studio, відома своїми проєктами з використанням традиційних українських матеріалів та форм, створює керамічні лампи, що нагадують глечики, мазанки та інші архетипні образи української культури [41]. Тепле світло, що проходить через глину, створює архаїчне відчуття безпеки «печери» — захищеного простору. Такий підхід поєднує сучасний дизайн із культурною ідентичністю, що може мати додаткове терапевтичне значення в умовах загрози національній ідентичності.

Ці приклади демонструють, що інноваційність у дизайні освітлення не обов'язково означає використання найновіших технологій. Продумане застосування традиційних матеріалів та форм у поєднанні з розумінням психологічних потреб користувачів може бути не менш ефективним.

Нормативно-правові перспективи. Євроінтеграційний курс України передбачає поступову гармонізацію нормативної бази з європейськими стандартами. У сфері освітлення це означає необхідність оновлення ДБН В.2.5-28:2018 з урахуванням положень EN 12464-1:2021 [21] та інших сучасних документів.

Ключовими напрямками оновлення мають стати:

Введення вимог або рекомендацій щодо меланопічної освітленості для приміщень тривалого перебування людей. Як мінімум, нормативний документ має інформувати проєктувальників про існування невізуальних ефектів освітлення та методи їх оцінки.

Включення положень про динамічне освітлення. Для певних категорій будівель (медичні заклади, навчальні заклади, офіси) може бути рекомендовано застосування систем із можливістю зміни параметрів освітлення протягом доби.

Посилення вимог до обмеження мерехтіння. З урахуванням зростання частки LED-освітлення та його потенційних проблем з пульсацією, доцільно ввести більш жорсткі нормативи коефіцієнта пульсації.

Включення рекомендацій щодо біофільного дизайну. Особливо для приміщень без природного освітлення мають бути надані рекомендації щодо компенсаційних заходів.

Освітні та популяризаторські ініціативи. Важливою передумовою впровадження інноваційного освітлення є підвищення обізнаності фахівців та широкої громадськості. На сьогодні в Україні бракує систематичної освіти з питань людиноцентричного освітлення.

Перспективними напрямками є: включення відповідних тем до навчальних програм архітектурних та дизайнерських спеціальностей вищих

навчальних закладів; проведення професійних тренінгів та семінарів для практикуючих архітекторів, дизайнерів та інженерів-світлотехніків; популяризація знань про вплив освітлення на здоров'я серед широкої аудиторії через медіа та соціальні мережі.

Професійні асоціації — зокрема, Асоціація світлодизайнерів України — можуть відігравати координуючу роль у цих процесах, сприяючи обміну досвідом та поширенню найкращих практик.

Економічні передумови впровадження. Попри складну економічну ситуацію, існують передумови для поступового впровадження інноваційного освітлення в Україні.

Енергетична криза, парадоксально, стимулює модернізацію освітлення. Масовий перехід на LED-технології, мотивований прагненням до енергозбереження, створює базу для подальшого впровадження smart-функціональності та HCL.

Міжнародна підтримка відбудови України може включати фінансування проєктів з використанням сучасних технологій. Реабілітаційні центри, медичні заклади, освітні установи, що будуються за кошти міжнародних донорів, можуть проєктуватися відповідно до найкращих світових практик.

Зростання вітчизняного виробництва LED-продукції знижує залежність від імпорту та робить базові технології більш доступними. Подальший розвиток локального виробництва може охопити й більш складні системи управління освітленням.

4.4. Авторська концепція модульної кімнати психологічного розвантаження «LightHaven»

Обґрунтування концепції та її актуальність. Сучасне суспільство характеризується безпрецедентним рівнем стресового навантаження на людину. Інформаційне перевантаження, прискорений ритм життя, невизначеність майбутнього та, особливо для України, наслідки воєнного

стану створюють умови, в яких потреба у просторах для психологічного відновлення стає не розкішшю, а необхідністю. За даними досліджень, понад 70% працівників офісів відчувають симптоми професійного вигорання, а серед студентів цей показник сягає 65% [35]. У контексті України до цих факторів додаються травматичний досвід війни, тривога через повітряні тривоги та загальна невизначеність, що суттєво підвищує потребу в доступних засобах психологічної саморегуляції.

Традиційні підходи до організації зон відпочинку в закладах — кімнати для перерв, лаунж-зони, куточки відпочинку — зазвичай обмежуються наданням комфортних меблів та, можливо, приглушеного освітлення. Проте такі рішення не використовують терапевтичний потенціал світла, науково підтверджений численними дослідженнями [12; 14; 16]. Виникає розрив між накопиченими знаннями про вплив освітлення на психофізіологічний стан людини та їх практичним застосуванням у проектуванні просторів. Саме цей розрив спонукав мене до розробки авторської концепції «LightHaven».

Моя концепція «LightHaven» (від англ. light — світло, haven — притулок) пропонує інноваційний підхід до створення просторів психологічного розвантаження, що базується на трьох ключових принципах:

Науковість. Кожне рішення щодо освітлення ґрунтується на доказовій базі — результатах клінічних досліджень та рекомендаціях міжнародних стандартів. Параметри світла для кожного режиму визначаються не інтуїтивно чи естетично, а відповідно до їхнього впливу на конкретні фізіологічні та психологічні процеси.

Модульність. Концепція передбачає гнучку архітектуру, що дозволяє адаптувати простір до потреб різних типів закладів та цільових аудиторій. Замість універсального рішення «для всіх» пропонується система взаємозамінних модулів, які можна комбінувати залежно від специфіки використання.

Масштабованість. Концепція реалізується у двох базових форматах — компактному (15-25 м², «капсула») та розширеному (25-40 м², «павільйон»),

що дозволяє впроваджувати її в закладах з різними просторовими можливостями.

Назва «LightHaven» відображає подвійну сутність концепції: це простір, де світло є головним терапевтичним інструментом, і водночас — безпечний притулок від стресів зовнішнього світу. Вважаю, що метафора притулку особливо резонує з українським контекстом, де поняття безпечного простору набуло буквального значення в умовах воєнного часу.

Теоретичні засади концепції. Концепція «LightHaven» інтегрує кілька наукових підходів до використання світла для впливу на психофізіологічний стан людини.

Циркадна регуляція базується на розумінні того, що світло є головним синхронізатором біологічних ритмів людини [8; 9]. Яскраве світло з високим меланопічним стимулом активує організм, пригнічує секрецію мелатоніну та підвищує рівень бадьорості. Натомість тепле, приглушене світло сигналізує організму про наближення часу відпочинку, сприяючи виробленню мелатоніну та розслабленню. «LightHaven» використовує ці механізми для створення режимів «Енергізація» та «Вечірня релаксація».

Хромотерапевтичні ефекти пов'язані з впливом кольору світла на емоційний стан. Хоча деякі аспекти хромотерапії залишаються дискусійними, певні ефекти мають надійне підтвердження. Зокрема, вузькосмугове зелене світло 520 нм демонструє доведену ефективність для полегшення мігрені та загального заспокоєння [16; 17]. Тепле янтарне світло асоціюється з відчуттям безпеки завдяки еволюційному зв'язку з вогнем — джерелом тепла та захисту для наших предків [28].

Принципи травма-інформованого дизайну [32] визначають вимоги до середовища, безпечного для людей з психологічною травмою. У контексті освітлення це означає: уникнення різких контрастів та глибоких тіней; мінімізацію мерехтіння; плавні переходи між режимами; надання користувачеві контролю над параметрами середовища. Ці принципи є наскрізними для всієї концепції «LightHaven».

Біофільний дизайн [30] враховує вроджену потребу людини у зв'язку з природою. В умовах закритих приміщень ця потреба може задовольнятися через імітацію природного світла та його динаміки, проєкції природних сцен, використання органічних форм та матеріалів.

Мультисенсорна інтеграція ґрунтується на розумінні того, що людське сприйняття є холістичним — різні сенсорні канали взаємодіють та підсилюють один одного. Поєднання правильно підбраного освітлення зі звуковим супроводом та ароматерапією створює синергетичний ефект, що перевищує суму окремих компонентів.

Архітектура модульної системи. Ключовою інновацією концепції «LightHaven» є модульна архітектура, що дозволяє адаптувати простір до специфічних потреб різних закладів. Система складається з трьох рівнів: базова платформа, функціональні модулі та адаптаційні профілі.

Базова платформа — це інваріантна частина концепції, що залишається незмінною незалежно від типу закладу. Вона включає:

Інфраструктуру освітлення: система спектрально-керованих LED-джерел з можливістю регулювання інтенсивності (0-100%), колірної температури (1800-6500 K) та, для окремих зон, кольору (RGB/RGBW). Всі джерела мають коефіцієнт пульсації менше 1% та індекс кольоропередачі CRI ≥ 90 .

Систему управління: центральний контролер з попередньо запрограмованими режимами та можливістю ручного налаштування. Інтерфейс користувача — сенсорна панель та/або мобільний додаток.

Акустичну підготовку: базова звукоізоляція від зовнішніх шумів та система відтворення звуку для фонового супроводу режимів.

Базове оздоблення: стіни та стеля з матовими поверхнями нейтральних тонів для оптимального відбиття та розсіювання світла без колірних спотворень.

Функціональні модулі — це набори режимів освітлення та супутніх елементів, що можуть включатися або виключатися з конфігурації. На мою думку, саме модульність робить концепцію універсальною. Основні модулі:

Модуль «Релаксація» — базовий модуль для зняття стресу та загального розслаблення з теплим приглушеним освітленням та повільною динамікою світла.

Модуль «Енергізація» — для відновлення бадьорості та концентрації з використанням яскравого світла з високим циркадним стимулом.

Модуль «Зелена терапія» — спеціалізований модуль для людей з мігренню та фотофобією на основі вузькосмугового зеленого освітлення 520 нм.

Модуль «Медитація» — для практик усвідомленості та дихальних вправ з мінімалістичним освітленням.

Модуль «Циркадна корекція» — для нормалізації біологічних ритмів, актуальний для людей з порушеннями сну.

Модуль «Біофілія» — проєкції природних сцен, імітація денного світла, динаміка «сходу/заходу сонця».

Модуль «Хромотерапія» — розширені можливості кольорового освітлення для емоційної регуляції.

Адаптаційні профілі — це пресети конфігурації, оптимізовані для конкретних типів закладів:

Профіль «Офіс» — для корпоративних просторів. Акцент на швидкому відновленні продуктивності, коротких сеансах 10-20 хвилин. Пріоритетні модулі: Енергізація, Релаксація.

Профіль «Освіта» — для навчальних закладів. Врахування специфіки студентської аудиторії: навантаження, нерегулярний сон, екзаменаційний стрес. Пріоритетні модулі: Енергізація, Циркадна корекція. Сеанси 15-30 хвилин.

Профіль «Реабілітація» — для медичних та реабілітаційних закладів. Особлива увага до травма-інформованих принципів. Пріоритетні модулі:

Зелена терапія, Медитація, Біофілія. Сеанси 30-60 хвилин. Вважаю, що саме цей профіль є найбільш актуальним для сучасної України.

Профіль «Універсальний» — збалансована конфігурація для громадських просторів з усіма модулями та гнучкістю у виборі режимів.

Просторові формати: «Капсула» та «Павільйон»

Концепція «LightHaven» реалізується у двох базових просторових форматах.

Формат «Капсула» (15-25 м²)

«Капсула» — це компактний індивідуальний простір для одного-двох користувачів, оптимізований для коротких сеансів 10-30 хвилин. Назва відображає концепцію захищеного, відокремленого від зовнішнього світу простору.

Геометрія простору. Оптимальною формою є квадрат або м'який прямокутник з співвідношенням сторін не більше 1:1,3. Мінімальні розміри — 3,5 × 4,5 м, рекомендовані — 4 × 5 м. Висота стелі — мінімум 2,7 м, оптимально 3-3,2 м. Кути приміщення бажано заокруглити — гострі кути асоціюються з напругою та можуть підсвідомо сприйматися як загроза [32].

Зонування. Простір розділяється на три зони: зона входу/виходу (2-3 м²) з панеллю управління та коротка інструкція; основна зона (10-15 м²) з комфортним кріслом-реклайнером; периферійна зона з освітлювальним обладнанням та прихованими динаміками.

Освітлювальна система. Застосовується концентрична схема: стельове освітлення (60-70% площі стелі) — світлова стеля або центральний світловий об'єкт органічної форми; периметральне освітлення — LED-стрічки по периметру; акцентне освітлення — для текстурних ефектів на стінах.

Меблювання. Центральним елементом є крісло-реклайнер з регулюванням положення спинки. Оббивка — гіпоалергенні матеріали, нейтральний колір.

Переваги: компактність дозволяє розміщення навіть у обмежених приміщеннях; індивідуальність забезпечує приватність; швидкий цикл забезпечує до 15-20 сеансів/день.

Формат «Павільйон» (25-40 м²)

«Павільйон» — розширений простір для 1-4 осіб з можливістю руху. Більша площа дозволяє створити більш різноманітне та імерсивне середовище.

Геометрія простору. Оптимальна витягнута або овальна форма 1:1,5 до 1:2, що створює природний напрямок руху. Рекомендовані розміри — 5 × 7 м або 4,5 × 8 м. Висота стелі — мінімум 3 м, оптимально 3,5-4 м.

Зонування. Вхідна зона (3-4 м²) для вибору режиму; зона активної релаксації (12-18 м²) з підвісними кріслами-гойдалками та м'якими пуфами; зона глибокої релаксації (8-12 м²) з лежачками для горизонтального положення; опційна зона для зеленої терапії або біофільної проєкції.

Освітлювальна система. Зонована система: загальне освітлення з регулюванням 0-100% та CCT 2700-6500 К; зональне освітлення — незалежні групи для кожної зони; динамічне освітлення — «світлові доріжки», «хвилі» на стінах, «зоряне небо»; проєкційне — для природних сцен та абстрактних візуалізацій.

Переваги: простір для руху важливий для тих, кому складно розслабитися в статичному положенні; варіативність зон; можливість групового використання; більший «вау-ефект».

Детальний опис режимів освітлення

Режими освітлення є ключовим функціональним елементом концепції. Кожен режим — ретельно спроектована комбінація параметрів для досягнення конкретного психофізіологічного ефекту.

Режим «Антистрес» (модуль «Релаксація»)

Мета: швидке зниження стресу та тривожності. Тривалість: 15-25 хвилин.

Параметри освітлення: колірна температура 2700-3000 К; освітленість 50-100 люкс; переважно непряме світло; динаміка «дихання» з періодом 8-12 секунд, амплітуда $\pm 15-20\%$.

Науковий базис: тепле світло низької інтенсивності мінімізує активацію меланопсинової системи, сигналізуючи про безпечні умови [8]. Ритмічна динаміка синхронізується з диханням, активуючи парасимпатичну нервову систему [32].

Звуковий супровід: м'який ембієнт або звуки природи (шум дощу, потік води), гучність 30-40 дБ.

Сценарій: вхід (2 хв) → занурення (3 хв) → глибока релаксація (10-15 хв) → пробудження (3 хв) → вихід (2 хв).

Режим «Глибокий спокій» (модуль «Релаксація»)

Мета: стан глибокої релаксації, що межує з медитативним. Тривалість: 25-40 хвилин.

Параметри: 2200-2700 К (янтарне світло); 10-30 люкс; виключно непряме від рівня підлоги; надзвичайно повільні зміни — «захід сонця» протягом перших 10 хвилин.

Науковий базис: янтарний спектр практично не містить синьої складової, максимально сприяючи виробленню мелатоніну [28]. Розміщення джерел на рівні підлоги створює «магічне» середовище.

Протипоказання: не рекомендується для осіб зі схильністю до клаустрофобії або страхом темряви.

Режим «Енергізація»

Мета: швидке відновлення бадьорості та концентрації. Тривалість: 10-20 хвилин.

Параметри: 5000-6500 К (холодне денне світло); меланопічна освітленість мінімум 250 m-EDI [24]; освітленість 500-1000 люкс; переважно пряме світло з вертикальною складовою.

Науковий базис: яскраве світло з високим синьо-блакитним компонентом пригнічує мелатонін та стимулює кортизол [8; 10]. Дослідження

підтверджують підвищення бадьорості та покращення когнітивних функцій [12].

Застереження: не рекомендується після 18:00, оскільки може порушити природне засинання.

Режим «Зелена гавань» (модуль «Зелена терапія»)

Мета: полегшення мігрені, зниження фотофобії. Тривалість: 30-60 хвилин.

Параметри: довжина хвилі 520 ± 10 нм (вузькосмугове зелене); освітленість 50-100 люкс; рівномірне розсіяне світло без прямого потрапляння в очі.

Науковий базис: дослідження Бурштейна [16; 17] продемонстрували унікальну властивість зеленого світла 520 нм: воно генерує мінімальну електричну активність у таламічних нейронах болю. Регулярне використання скорочує дні з мігренню на 50-60%.

Критично важливо: необхідне саме вузькосмугове світло з FWHM < 20 нм. Звичайні RGB-лампи не підходять через домішки інших спектральних компонентів.

Режим «Медитативний простір»

Мета: оптимальні умови для медитації та дихальних вправ. Тривалість: 15-45 хвилин.

Варіанти: «Темрява» — майже повна темнота, <5 люкс, єдине джерело — імітація свічки; «М'яке сяйво» — 10-20 люкс, 2700 К, без динаміки; «Фокус» — одна світлова точка для концентрації погляду.

Науковий базис: мінімізація зорових стимулів полегшує зосередження на внутрішньому досвіді.

Режим «Світанок» (модуль «Циркадна корекція»)

Мета: імітація природного світанку для нормалізації ритмів. Тривалість: 20-40 хвилин.

Параметри: від темряви (<1 люкс, 1800 К) до 300-500 люкс, 4000-5000 К за 20-30 хвилин за криволінійним законом.

Науковий базис: природний світанок є найпотужнішим синхронізатором циркадних ритмів [8]. Поступове наростання дозволяє організму плавно вийти зі стану сну.

Застосування: початок робочого дня; після нічних змін; подолання джетлагу.

Режим «Природне вікно» (модуль «Біофілія»)






Мета: компенсація відсутності природного освітлення. Тривалість: 15-30 хвилин або фонове використання.

Параметри: 300-500 люкс, ССТ синхронізована з реальним часом; динаміка руху хмар, плями сонячного світла; проекція природних сцен на екрані.

Науковий базис: перегляд сцен природи знижує артеріальний тиск, кортизол та покращує самопочуття [31]. Ефект «Prospect» асоціюється з безпекою [30].

Таблиця 4.2 — Характеристика режимів освітлення концепції «LightHaven»

Режим	ССТ / Спектр	Освітленість (лк)	Тривалість	Динаміка	Основний ефект	Науковий базис
 Антистрес	2700-3000 К	50-100	15-25 хв	«Дихання» (плавна пульсація)	Швидке зняття тривожності	Мінімізація меланопічного стимулу; активація парасимпатичної НС
 Глибокий спокій	2200-2700 К	10-30	25-40 хв	«Захід сонця» (поступове згасання)	Глибока релаксація, підготовка до сну	Янтарний спектр без синього; максимальна секреція мелатоніну
 Енергізація	5000-6500 К	500-1000	10-20 хв	Плавне наростання	Відновлення бадьорості та концентрації	Потужний меланопічний стимул; пригнічення мелатоніну

 Зелена гавань	520 ± 10 нм	50-100	30-60 хв	Статичне	Полегшення мігрені та фотофобії	Мінімальна таламічна активація (Burstein et al.)
 Медитація	< 2700 К	< 5-20	15-45 хв	Статичне / фокусна точка	Умови для практик усвідомленості	Сенсорна депривація; фокусування уваги
 Світанок	1800 → 5000 К	0 → 500	20-40 хв	Градiєнт (імітація світанку)	М'яке пробудження, корекція ритмів	Природна циркадна активація
 Природне вікно	3000-6500 К	300-500	15-30 хв	Динаміка хмар/тіней	Компенсація відсутності денного світла	Біофільний ефект; зниження клаустрофобії
 Хромотерапія	RGB-спектр	20-80	10-20 хв	За вибором	Модуляція емоційного стану	Психологія кольору; індивідуальні переваги

Технічні специфікації обладнання

Реалізація концепції потребує ретельного підбору обладнання. Вважаю за необхідне навести основні технічні вимоги для різних бюджетних категорій.

Основне освітлювальне обладнання

Світлова стеля: для «Капсули» — 6-10 м², для «Павільйону» — 12-20 м². Варіанти: LED-панелі за транслюцентною мембраною (щільність 300-800 лм/м², CCT 2700-6500 К, CRI ≥ 90, пульсація <1%); масив індивідуально керованих точок (50-100 для «Капсули», 150-300 для «Павільйону»); світловий об'єкт центрального розміщення.

Периметральне освітлення: LED-стрічки з регульованою CCT та/або кольором (RGBW). Щільність мінімум 60 шт/м, рекомендовано 120 шт/м; загальна довжина 15-25 м для «Капсули», 25-40 м для «Павільйону»; потужність 10-15 Вт/м.

Зелена терапія: критична вимога — вузькосмуговий спектр 520 ± 10 нм з FWHM < 20 нм. Рекомендовані лампи Allay або Nooga. Для «Капсули» достатньо 2-4 джерел.

Проекційне обладнання: роздільна здатність мінімум Full HD, рекомендовано 4K; яскравість 2000-3000 люмен; контраст мінімум 10000:1; тихий вентилятор < 30 дБ.

Система управління

Центральний контролер: підтримка протоколів Zigbee, DALI та/або DMX512; програмування складних сценаріїв. Бюджетний варіант: Home Assistant. Преміум: Lutron HomeWorks, Crestron.

Інтерфейс користувача: сенсорна панель 7-10 дюймів; мобільний додаток; голосове управління (опційно).

Датчики: присутності (PIR або mmWave), освітленості, часу.

Вважаю важливим, що модульна архітектура дозволяє почати з мінімальної конфігурації та поступово розширювати функціональність.

Мультисенсорна інтеграція

Хоча освітлення є центральним елементом, інтеграція інших сенсорних модальностей підсилює терапевтичний ефект.

Аудіальний компонент. Функції: підсилення ефекту освітлення через синхронізацію ритмів; маскування зовнішніх звуків; аудіо-навігація для медитації. Технічна реалізація: система мінімум 2.1, рекомендовано 4.1; приховані динаміки; потужність 50-100 Вт; бібліотека треків 30-60 хвилин для кожного режиму.

Ольфакторний компонент. Аромати з доведеним впливом: лаванда — зниження тривожності; розмарин, м'ята — бадьорість; цитрусові — покращення настрою; хвойні — заспокоєння. Реалізація: ультразвуковий дифузор з програмуванням, натуральні ефірні олії, можливість вимкнення для людей з алергіями.

Принципи інтеграції: узгодженість (всі сигнали підсилюють єдиний меседж); ієрархія (світло — домінуючий канал); опційність (можливість вимкнути будь-який канал).

Рекомендації щодо оздоблення та матеріалів

Стіни: нейтральні тони з високим коефіцієнтом відбиття — білий, світло-сірий, бежевий; матова або напівматова поверхня; акустичні панелі; м'які панелі у зонах дотику.

Стеля: транслюцентні панелі для світлової стелі або матова біла поверхня з відбиттям >85%; акустична обробка.

Підлога: м'які, теплі матеріали — ковролін, коркове покриття; темніші відтінки для «заземлення»; додаткові мати для зон лежання.

Меблі: органічні, заокруглені форми; текстиль з приємною тактильністю; нейтральні кольори; регулювання положення.

Експлуатація та обслуговування

Щоденно: перевірка працездатності, провітрювання, прибирання.

Щотижнево: повне прибирання м'яких поверхонь; перевірка арома-олії; перевірка журналу помилок.

Щомісячно: тестування всіх режимів; калібрування датчиків; оновлення ПЗ.

Щорічно: повний технічний огляд; оновлення контенту; аналіз статистики використання.

Термін служби: LED-джерела — 50000+ годин (10-15 років); проєктор — 20000-30000 годин (5-10 років); електроніка — 7-10 років; м'які меблі — 5-10 років.

Очікувані результати впровадження

Для користувачів: зниження суб'єктивного стресу на 20-40%; покращення концентрації після режиму «Енергізація»; нормалізація циркадних ритмів при регулярному використанні; полегшення мігрені на 30-50% для користувачів зеленої терапії [17].

Для організацій: підвищення задоволеності працівників/студентів; зниження показників професійного вигорання; позиціонування як інноваційний заклад.

Для реабілітаційних закладів: доповнення традиційних методів науково обґрунтованим інструментом; покращення показників при ПТСР, депресії, порушеннях сну; підвищення прихильності пацієнтів до програм.

Висновки до розділу 4

Проведений аналіз можливостей впровадження інноваційного освітлення в Україні та перспектив розвитку галузі дозволяє сформулювати низку важливих висновків.

Проектування освітлення реабілітаційних закладів для військових потребує особливої уваги до принципів травма-інформованого дизайну [32]. Ключовими є: мінімізація мерехтіння та різких контрастів; забезпечення м'якого, рівномірного світлового середовища; надання користувачам контролю над параметрами освітлення; плавні переходи при автоматичній зміні режимів. Світлотерапія яскравим світлом має науково підтверджену ефективність при ПТСР (44% позитивної відповіді [12]) і може бути інтегрована в реабілітаційний процес як через спеціалізовані кабінети, так і через біологічно активне архітектурне освітлення. Міжнародний досвід (VA Palo Alto, Beit Halochem, Chromaviso) надає цінні орієнтири для українських проєктів [29; 33; 34].

Технологічні тренди на період до 2030 року свідчать про неминучість масового впровадження людиноцентричного освітлення: за прогнозами, 70% нових комерційних будівель у розвинених країнах матимуть HCL-системи до 2027 року [35]. AI-персоналізація освітлення стане стандартною функцією (ринок \$12,7 млрд до 2028 року [35]). Li-Fi перейде до стадії комерційного впровадження (ринок \$7,7-32 млрд до 2030 року [36]). Терапевтичні застосування світла розширяться за межі традиційних сфер.

Українські практики демонструють можливість реалізації інноваційних підходів навіть в умовах воєнного часу. Терапевтичний сад на ВДНГ [38]

втілює принципи травма-інформованого освітлення; CLUST SPACE [39] демонструє можливості HCL та біофільного дизайну в укриттях; студії Yalanzi Objects [40] та Makhno Studio [41] формують унікальну естетику стійкості, що поєднує функціональність з емоційним комфортом.

Перспективи впровадження інноваційного освітлення в Україні пов'язані з: гармонізацією нормативної бази з європейськими стандартами в контексті євроінтеграції; використанням міжнародної підтримки для проєктування сучасних реабілітаційних та медичних закладів; розвитком освітніх програм та підвищенням обізнаності фахівців; стимулюванням переходу на LED-технології енергетичною кризою.

Реалізація цих можливостей потребує координованих зусиль державних органів, професійної спільноти, освітніх закладів та міжнародних партнерів. Інноваційне освітлення має потенціал стати не лише інструментом покращення якості життя, а й частиною стратегії національної стійкості та відновлення.

Я переконаний, що концепція «LightHaven» має потенціал стати частиною стратегії національної стійкості та відновлення України. Модульність та масштабованість дозволяють адаптувати її до будь-яких умов — від офісних просторів до реабілітаційних центрів для ветеранів. Впровадження потребує координованих зусиль державних органів, професійної спільноти та міжнародних партнерів, проте є цілком реалістичним і вкрай необхідним для покращення якості життя та психологічного здоров'я українців.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Інноваційні засоби освітлення інтер'єрів в контексті сучасних реалій» присвячена комплексному дослідженню сучасних технологій освітлення та їх потенціалу для створення комфортних, терапевтичних та енергоефективних просторів. У роботі розглянуто теоретичні, технологічні та практичні аспекти інноваційного освітлення, а також розроблено авторську концепцію модульної кімнати психологічного розвантаження.

Було вивчено сучасний стан наукових досліджень у сфері архітектурного освітлення, що дозволило виявити парадигмальний зсув від суто функціонального підходу до комплексного розуміння біологічного впливу світла на людину (Bouse, 2014). Дослідження показало, що відкриття у 2002 році внутрішньо фоточутливих гангліонарних клітин сітківки (ipRGCs) стало поворотним моментом у розумінні невізуальних функцій зорової системи (Rea et al., 2010). Аналіз праць провідних дослідників (P. Bouse, J. Veitch, M. Rea, I. Knez, Y. de Kort) засвідчив формування нової міждисциплінарної галузі на перетині архітектури, нейронауки та світлотехніки.

Систематизовано термінологічний апарат дослідження, що охоплює 18 ключових понять інноваційного освітлення. Визначено сутність таких категорій як меланопічна освітленість (m-EDI), циркадний стимул (CS), людиноцентричне освітлення (HCL), травма-інформований дизайн (TID). Сформований понятійний апарат забезпечує теоретичну базу для подальших досліджень та професійної комунікації у сфері інноваційного освітлення (Knez, 2001; Veitch & McColl, 2001).

Проведено аналіз теоретико-методологічних засад людиноцентричного освітлення та відповідних міжнародних стандартів. З'ясовано, що сучасний

підхід до проектування освітлення враховує три виміри впливу світла: візуальний, біологічний та емоційний. Особливу увагу приділено стандартам EN 12464-1:2021, CIE S 026:2018 та WELL Building Standard v2, які встановлюють вимоги щодо меланопічної освітленості на рівні 150-240 m-EDI. Порівняльний аналіз із чинним ДБН В.2.5-28:2018 виявив необхідність гармонізації вітчизняної нормативної бази з європейськими вимогами.

Досліджено сучасні інноваційні технології освітлення трьох категорій: спектрально-селективні (BIOS SkyBlue, Ketra Dynamic Spectrum, Tunable White), терапевтичні (світлотерапія яскравим світлом, вузькосмугова зелена терапія 520 нм, фотобіомодуляція) та smart-системи з інтеграцією штучного інтелекту. Аналіз клінічних досліджень підтвердив ефективність світлотерапії для лікування посттравматичного стресового розладу — 44,1% клінічно значуще покращення порівняно з 8,6% у контрольній групі (Youngstedt et al., 2022). Ці результати обґрунтовують доцільність інтеграції терапевтичних технологій освітлення в архітектурне середовище.

Вивчено міжнародний досвід використання інноваційного освітлення в реабілітаційних закладах, зокрема практики VA Palo Alto Health Care System (США), центрів Beit Halochem (Ізраїль) та компанії Chromaviso (Данія). На основі узагальнення кращих практик та з урахуванням принципів травма-інформованого дизайну розроблено авторську концепцію модульної кімнати психологічного розвантаження «LightHaven». Концепція передбачає два просторові формати, сім функціональних модулів та чотири адаптаційні профілі для різних типів закладів. Детально розроблено вісім режимів освітлення з науковим обґрунтуванням параметрів — від режиму «Антистрес» з теплим світлом 2700-3000 К до терапевтичного режиму «Зелена гавань» з вузькосмуговим випромінюванням 520 ± 10 нм.

Окреслено перспективи розвитку інноваційного освітлення в Україні з урахуванням технологічних трендів та національних особливостей. Аналіз вітчизняних практик (Терапевтичний сад ВДНГ за участі студії Expolight,

смарт-укриття CLUST SPACE, відзначене Red Dot Design Award 2025) підтвердив можливість впровадження інноваційного освітлення навіть в умовах обмежених ресурсів та енергетичної нестабільності. Прогнозується, що до 2027 року до 70% нових комерційних будівель у розвинених країнах будуть оснащені HCL-системами.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів архітекторами, дизайнерами інтер'єру, медичними та реабілітаційними закладами. Розроблена концепція «LightHaven» може бути впроваджена в офісних просторах для профілактики професійного вигорання, в освітніх закладах для підтримки когнітивних функцій студентів, у реабілітаційних центрах для комплексної терапії посттравматичних станів. Запропоновані рекомендації сприятимуть підвищенню якості архітектурного середовища та психологічного комфорту користувачів.

На мою думку, саме зараз Україна має унікальну можливість здійснити технологічний стрибок у сфері освітлення. Масова заміна застарілих джерел світла на LED-технології, зумовлена енергетичною кризою, створює інфраструктурну базу для подальшого впровадження smart-функціональності та людиноцентричних рішень. Водночас гостра потреба у розбудові реабілітаційної інфраструктури для ветеранів відкриває простір для інтеграції терапевтичних технологій освітлення, ефективність яких підтверджена міжнародними клінічними дослідженнями. Поєднання цих факторів із євроінтеграційними процесами та необхідністю гармонізації нормативної бази формує сприятливі умови для становлення України як країни з передовими практиками у сфері інноваційного освітлення інтер'єрів.

Таким чином, магістерська робота вносить внесок у розвиток теорії та практики архітектурного освітлення, обґрунтовуючи можливості використання інноваційних технологій для створення середовищ, що не лише забезпечують зоровий комфорт, але й активно сприяють здоров'ю, працездатності та психологічному благополуччю людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boyce, P. R. Human Factors in Lighting. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis, 2014. 703 p.
2. Rea, M. S. The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application. 9th ed. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 2000. 1000 p.
3. Zumtobel. The Lighting Handbook. 5th ed. Dornbirn : Zumtobel Lighting GmbH, 2018. 356 p.
4. Boyce, P. R. Editorial: Exploring human-centric lighting. Lighting Research & Technology. 2016. Vol. 48, No. 2. P. 101.
5. Knez, I. Effects of indoor lighting on mood and cognition. Journal of Environmental Psychology. 1995. Vol. 15. P. 39–51.
6. Knez, I., Kers, C. Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. Environment & Behavior. 2000. Vol. 32, No. 6. P. 817–831.
7. Veitch, J. A., Newsham, G. R. Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction and comfort. Journal of the Illuminating Engineering Society. 1998. Vol. 27, No. 1. P. 107–129.
8. Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bullough, J. D., Bierman, A. Circadian light. Journal of Circadian Rhythms. 2010. Vol. 8, No. 2. P. 1–10.
9. Berson, D. M., Dunn, F. A., Takao, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science. 2002. Vol. 295, No. 5557. P. 1070–1073.
10. Cajochen, C. Alerting effects of light. Sleep Medicine Reviews. 2007. Vol. 11, No. 6. P. 453–464.
11. Chellappa, S. L. Individual differences in light sensitivity affect sleep and circadian rhythms. Sleep. 2021. Vol. 44, No. 2. P. 1–10.
12. Youngstedt, S. D., Kline, C. E., Reynolds, A. M., et al. Bright Light Treatment of Combat-related PTSD: A Randomized Controlled Trial. Military Medicine. 2022. Vol. 187, No. 3-4. P. e435–e443.

13. Killgore, W. D. S., Vanuk, J. R., Shane, B. R., et al. Morning blue light treatment improves sleep complaints, symptom severity, and retention of fear extinction memory in post-traumatic stress disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2022. Vol. 16. Article 886576.
14. Figueiro, M. G., Plitnick, B., Rea, M. S. Light modulates leptin and ghrelin in sleep-restricted adults. *International Journal of Endocrinology*. 2012. Vol. 2012. Article 530726.
15. de Kort, Y. A. W., Veitch, J. A. From blind spot into the spotlight: Introduction to the special issue 'Light, lighting, and human behaviour'. *Journal of Environmental Psychology*. 2014. Vol. 39. P. 1–4.
16. Nosedá, R., Bernstein, C. A., Nber, R. A., et al. Migraine photophobia originating in cone-driven retinal pathways. *Brain*. 2016. Vol. 139, No. 7. P. 1971–1986.
17. Martin, L. F., Patwardhan, A. M., Bhattacharya, A., et al. Evaluation of green light exposure on headache frequency and quality of life in migraine patients. *Cephalalgia*. 2021. Vol. 41, No. 2. P. 135–147.
18. Hamblin, M. R. Photobiomodulation or low-level laser therapy. *Journal of Biophotonics*. 2016. Vol. 9, No. 11-12. P. 1122–1124.
19. Cassano, P., Petrie, S. R., Hamblin, M. R., et al. Review of transcranial photobiomodulation for major depressive disorder: targeting brain metabolism, inflammation, oxidative stress, and neurogenesis. *Neurophotonics*. 2016. Vol. 3, No. 3. Article 031404.
20. Naeser, M. A., Zafonte, R., Kregel, M. H., et al. Significant improvements in cognitive performance post-transcranial, red/near-infrared light-emitting diode treatments in chronic, mild traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014. Vol. 95, No. 10. P. 1836–1843.
21. EN 12464-1:2021. Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places. Brussels : European Committee for Standardization, 2021. 54 p.
22. ISO/CIE 8995-1:2025. Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor. Geneva : International Organization for Standardization, 2025. 48 p.
23. CIE S 026:2018. CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light. Vienna : International Commission on Illumination, 2018. 24 p.
24. WELL Building Standard v2. Light Concept. New York : International WELL Building Institute, 2023. URL: <https://v2.wellcertified.com/v/en/light>
25. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.

26. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1: Внутрішні робочі місця. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 48 с.
27. BIOS Lighting. SkyBlue Technology: Spectrally Optimized White Light. 2024. URL: <https://bioslighting-skyblue.com/>
28. Lutron Electronics. Ketra: Natural Light Experience. 2024. URL: <https://www.ketra.com/>
29. Chromaviso. Evidence-based circadian lighting for healthcare. 2024. URL: <https://chromaviso.com/>
30. Sky Factory. eScape Digital Cinema Windows. 2024. URL: <https://skyfactory.com/product/escape-digital-virtual-window/>
31. Atmosph Inc. Atmosph Window 2: Smart Window Display. 2024. URL: <https://atmosph.com/>
32. HOK. Trauma-Informed Design for Homeless Populations. 2022. URL: <https://www.hok.com/wp-content/uploads/2022/08/trauma-informed-design-for-homeless-populations-hok-high-resolution.pdf>
33. SmithGroup. Veterans Affairs Palo Alto Polytrauma and Blind Rehabilitation Center. 2023. URL: <https://www.smithgroup.com/projects/veterans-affairs-palo-alto-polytrauma-and-blind-rehabilitation-center>
34. VA Research. Can light therapy help the brain? VA study with Gulf War Veterans. 2015. URL: <https://www.research.va.gov/currents/spring2015/spring2015-7.cfm>
35. Grand View Research. Lighting Market Size, Share & Growth Report, 2030. San Francisco, 2024. 150 p.
36. Mordor Intelligence. Light Fidelity (Li-Fi) Market Size, Share, Forecast & Analysis. Hyderabad, 2024. 120 p.
37. International Energy Agency. Lighting: Energy System Overview. Paris : IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>
38. Терапевтичний сад на ВДНГ: Архітектура зцілення / Pragmatika Media. 2024. URL: <https://pragmatika.media/en/arkhitektura-ztsilennia-na-vdnh-vidkryly-pershu-cherhu-terapevtychnoho-sadu/>
39. CLUST SPACE: Smart student shelter in Ukraine receives global design award / NV.ua. 2025. URL: <https://english.nv.ua/life/ukrainian-smart-shelter-wins-2025-red-dot-design-award-for-interior-architecture-50528860.html>
40. Yalanzhi Objects: Biophilic Lighting Design. 2024. URL: <https://objects.yalanzhi.com/en/>

41. Makhno Studio. Project DACHA. 2024. URL:
<https://makhnostudio.com/project/dacha/>
42. TIME. Ukraine's Energy Sector Faces Its Biggest Crisis Yet. 2024. URL:
<https://time.com/7008613/ukraine-russia-power-sector-frontline/>
43. OSW Centre for Eastern Studies. On the verge of blackout: Ukraine facing attacks on its electricity generation system. Warsaw, 2023. URL:
<https://www.osw.waw.pl/en/publikacje/osw-commentary/2023-01-18/verge-blackout-ukraine-facing-attacks-its-electricity>
44. Tupala, L. The Impact of Lighting on Office Workers' Well-being and Work : Bachelor's thesis. Helsinki : Metropolia University of Applied Sciences, 2024. 45 p.
45. Veitch, J. A. Psychological processes influencing lighting quality. Journal of the Illuminating Engineering Society. 2001. Vol. 30, No. 1. P. 124–140.
46. The Effects of White versus Coloured Light in Waiting Rooms on People's Emotions. Buildings. 2022. Vol. 12, No. 9. Article 1356. URL:
<https://www.mdpi.com/2075-5309/12/9/13>



Рис. Б.1 - Фото модульної віртуальної стелі в медичному закладі

Джерело: <https://gammagurus.com/products/sky-factory-escape-2-0-digital-cinema-windows>



Рис. Б.2 - Віртуальне вікно в холі медичного закладу

Джерело: <https://gammagurus.com/products/sky-factory-escape-2-0-digital-cinema-windows>

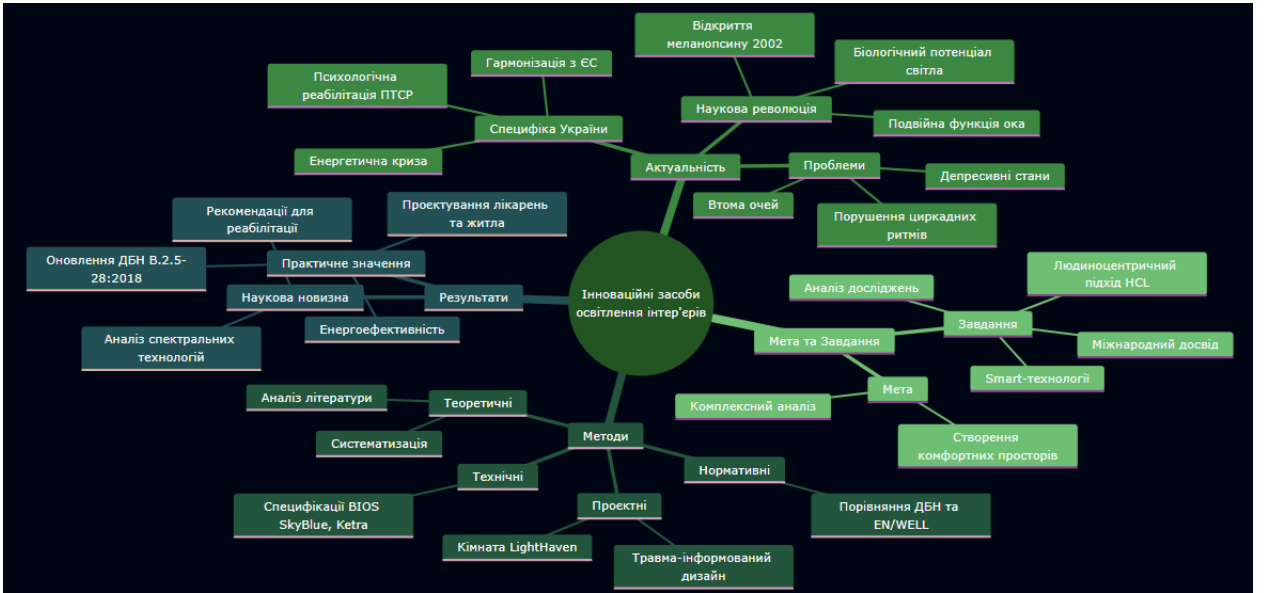


Рис. Б.3 - Схема-дерево пов'язаних тем із інноваційним освітленням

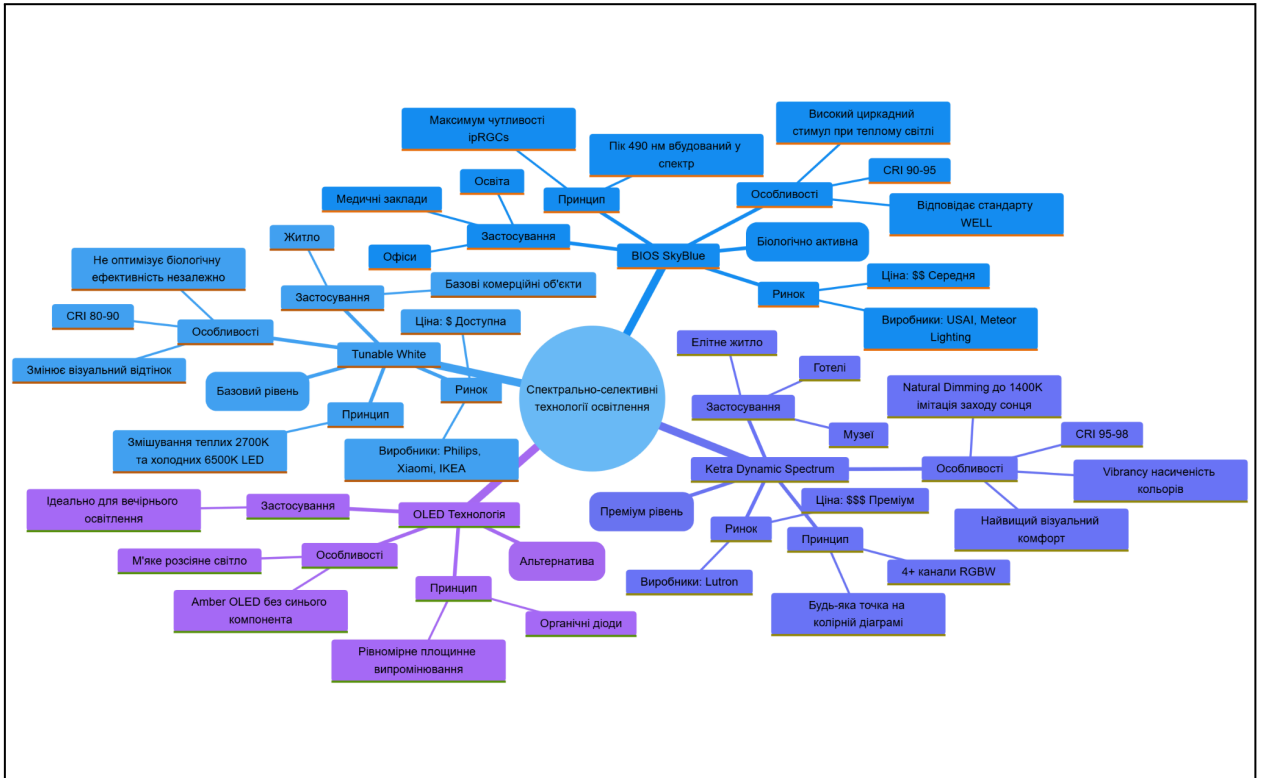


Рис. Б.4 - Схема-дерево спектрально-селективних технологій освітлення

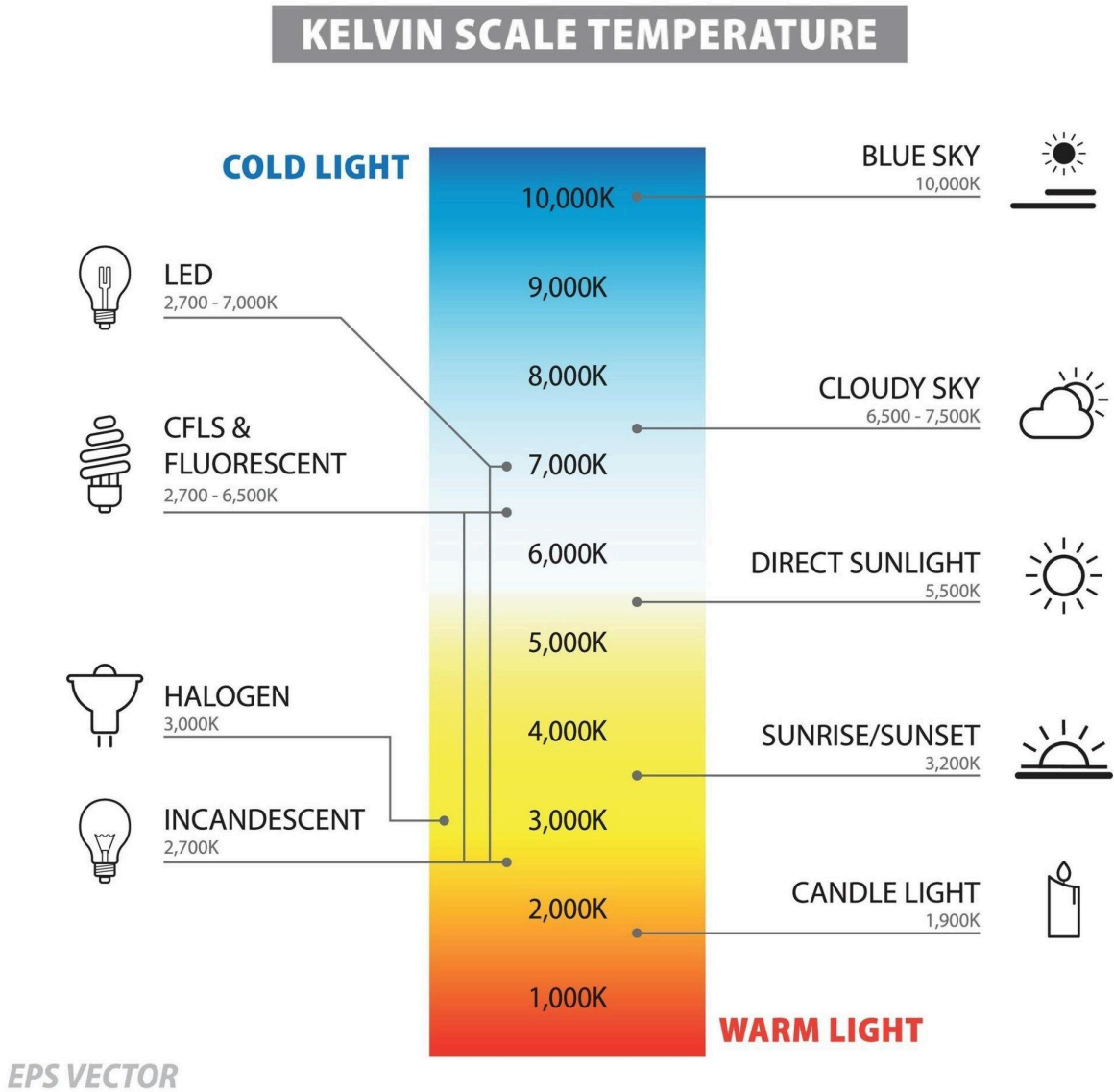


Рис. Б.5 - Інфографіка температури світла за Кельвінами
 Джерело: freecitasm.click/product_tag/68173077_.html

Total points achieved	WELL Certification		WELL Core Certification	
	Minimum points per concept	Level of certification	Minimum points per concept	Level of certification
40 pts	0	WELL Bronze	0	WELL Core Bronze
50 pts	1	WELL Silver	0	WELL Core Silver
60 pts	2	WELL Gold	0	WELL Core Gold
80 pts	3	WELL Platinum	0	WELL Core Platinum

Рис. Б.6 - Таблиця рівнів сертифікацій WELL
 Джерело: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview>

Tier	Threshold		Threshold for Projects with Enhanced Daylight	Points
1	At least 150 EML [136 melanopic EDI]	OR	At least 120 EML [109 melanopic EDI] and either L05 Part 1 or L06 Part 1	1
2	At least 275 EML [250 melanopic EDI] ⁴¹	OR	At least 180 EML [136 melanopic EDI] and either L05 Part 1 or L06 Part 1	3

Рис. Б.7 - Таблица оцінювання циркадного освітлення

Джерело: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/light/feature/3>



Рис. Б.8 - Смарт-укриття ClustSpace

Джерело: <https://clust.team/clust-space/>

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут деревообробних технологій і дизайну
Кафедра дизайну

ГЛАДКИЙ Назарій

АНОТАЦІЯ

УДК 7.05:747:644.3:001.895

Кваліфікаційна робота магістерського рівня вищої освіти виконана на тему:
**«ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ОСВІТЛЕННЯ ІНТЕР'ЄРІВ В КОНТЕКСТІ
СУЧАСНИХ РЕАЛІЙ»**

Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно тематичного плану наукових досліджень кафедри дизайну НЛТУ України.

Мета дослідження полягає в аналізі можливостей використання інноваційних технологій освітлення як інструменту формування психологічного комфорту та корекції просторового сприйняття, а також у розробці авторської концепції модульної кімнати психологічного розвантаження «LightHaven».

Об'єктом дослідження є освітлення в архітектурно-дизайнерському середовищі як фактор формування просторового сприйняття та психологічного комфорту користувачів.

Було розглянуто теоретичні засади людиноцентричного освітлення (Human Centric Lighting), спектрально-селективні технології (Tunable White, BIOS SkyBlue, Ketra), терапевтичні методи світлотерапії, принципи травма-інформованого та біофільного дизайну, а також міжнародні стандарти у сфері освітлення (EN 12464-1:2021, WELL v2, CIE S 026:2018).

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів полягає у комплексному підході до використання освітлення як терапевтичного інструменту з урахуванням українського контексту воєнного часу.

Розроблено авторську концепцію «LightHaven» — модульну кімнату психологічного розвантаження з науково обґрунтованими режимами освітлення. Результати роботи можуть бути використані для проєктування реабілітаційних центрів, офісних просторів, освітніх закладів та укриттів.

Ключові слова: ЛЮДИНОЦЕНТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ЦИРКАДНІ РИТМИ, СВІТЛОТЕРАПІЯ, ТРАВМА-ІНФОРМОВАНИЙ ДИЗАЙН, БІОФІЛЬНИЙ ДИЗАЙН, МЕЛАНОПІЧНА ОСВІТЛЕНІСТЬ, LED-ТЕХНОЛОГІЇ.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL FORESTRY UNIVERSITY OF UKRAINE

Educational and Scientific Institute of Woodworking Technologies and Design

Department of Design

HLADKYI Nazarii

ABSTRACT

УДК 7.05:747:644.3:001.895

Кваліфікаційна робота магістерського рівня вищої освіти виконана на тему:

**«ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ОСВІТЛЕННЯ ІНТЕР'ЄРІВ В КОНТЕКСТІ
СУЧАСНИХ РЕАЛІЙ»**

The master's qualification work was completed according to the thematic plan of scientific research of the Department of Design of the NLTU of Ukraine.

The purpose of the research is to analyze the possibilities of using innovative lighting technologies as a tool for creating psychological comfort and spatial perception correction, as well as to develop an original concept of the modular psychological relief room "LightHaven".

The object of the study is lighting in the architectural and design environment

as a factor in shaping spatial perception and psychological comfort of users.

The theoretical foundations of Human Centric Lighting, spectrally-selective technologies (Tunable White, BIOS SkyBlue, Ketra), therapeutic methods of light therapy, principles of trauma-informed and biophilic design, as well as international lighting standards (EN 12464-1:2021, WELL v2, CIE S 026:2018) were considered.

The scientific novelty and practical significance of the obtained results lies in a comprehensive approach to using lighting as a therapeutic tool, taking into

account the Ukrainian wartime context. The original "LightHaven" concept was developed — a modular psychological relief room with scientifically based lighting modes. The results of the work can be used for designing rehabilitation centers, office spaces, educational institutions, and shelters.

Keywords: HUMAN CENTRIC LIGHTING, CIRCADIAN RHYTHMS, LIGHT THERAPY, TRAUMA-INFORMED DESIGN, BIOPHILIC DESIGN, MELANOPIC ILLUMINANCE, LED TECHNOLOGIES.