

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

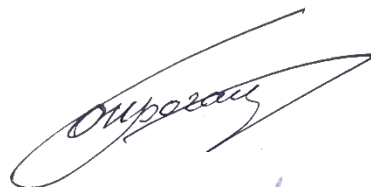
Механічний факультет

Кафедра Метрології та безпеки життєдіяльності

Дипломна робота
бакалавра

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ ПРИ
АТЕСТАЦІЇ РОБОЧИХ МІСЦЬ

Завідувач кафедри, к.т.н., проф.



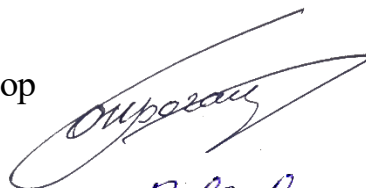
О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент



М. В. Москаленко

Консультант, канд. техн. наук, професор



О. І. Богатов

Керівник, канд. техн. наук, доцент



О. В. Крайнюк

Студент гр. ММ-41-19



Д. В. Репяк

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

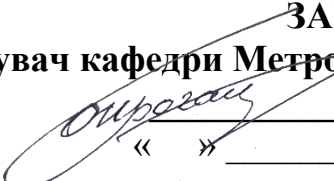
Факультет Механічний

Кафедра: Метрології та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Метрології та БЖД

О. І. Богатов
« » _____ 2023 р

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Репяку Данилу Вікторовичу

1. Тема роботи: «Вдосконалення методики вимірювання освітлення при атестації робочих місць»

Керівник роботи Крайнюк Олена Володимирівна, к.т.н., доцент.

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» березня 2023 року № _31_

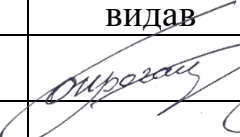
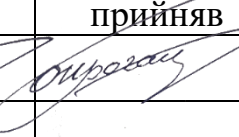
2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Огляд методів та засобів вимірювання освітленості. 2 Можливості використання смартфонів для вимірювання освітленості при оцінки робочого місця. 3 Порівняння мобільних додатків для вимірювання освітленості робочого приміщення. 4. Порівняння приладів для використання оцінки освітленості робочого середовища при проведенні атестації робочого місця. 5. Визначення відносної похибки при використанні різного типу люксметрів. 6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

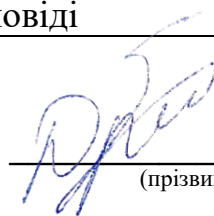
6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Богатов О.І., проф. каф. МБЖД		

7. Дата видачі завдання 3 квітня 2023 р.

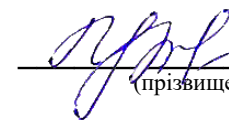
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд методів та засобів вимірювання освітленості	10.04.2023	
2	Дослідження можливості використання смартфонів для вимірювання освітленості при оцінці робочого місця	15.04.2023	
3	Дослідження вимірювання освітленості за допомогою різних типів люкметрів. Аналіз похибки при вимірюванні освітленості з використанням різних типів світильників	30.04.2023	
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Формування висновків по роботі. Оформлення дипломної роботи	15.05.2023	
5	Підготовка презентації та доповіді	21.05.2023	

Студент
(підпис)

Репяк Д. В. _____

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)
(підпис)

Крайнюк О. В. _____

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 55 сторінок, 13 рисунків, 16 таблиць, 1 додаток, 21 джерело.

АТЕСТАЦІЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ, ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ, ДОСТОВІРНІСТЬ, ЛЮКСМЕТР, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ, LED-ЛАМПИ

Мета дослідження: Вдосконалення методики вимірювання освітленості при проведенні атестації робочих місць за умовами праці.

Завдання дослідження:

- Встановити гігієнічні вимоги до освітлення.
- Вивчити методику проведення атестації робочих місць, встановити метрологічне забезпечення проведення вимірювань параметрів робочого місця.
- Проаналізувати існуючі методи натурних вимірювань освітленості промислових підприємств.
- Провести вимірювання освітленості за допомогою цифрового та аналогового пристрою, виконати статистичну обробку отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – рівень освітленості робочого середовища.

Предмет дослідження – вимірювання рівня освітленості при проведенні атестації робочого місця за умовами праці.

Методи дослідження: аналіз сучасної літератури з досліджуваної теми, описово-аналітичний метод, порівняльний, систематизації отриманих результатів, інструментальні, обробки статистичних даних.

Практичне значення отриманих результатів: результати дослідження є підставою для удосконалення методики вимірювання освітленості виробничого середовища при проведенні атестації робочих місць за умовами праці.

Наукова новизна полягає у підготовці рекомендації щодо вдосконалення методики вимірювання освітленості при проведенні атестації робочих місць.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Методи і засоби вимірювання освітлення	9
1.1 Кількісні характеристики освітлення.....	9
1.2 Гігієнічні вимоги до освітлення.....	11
1.3 Вимірювання освітленості за допомогою спеціальних приладів.....	13
1.4 Норми освітленості робочого місця	15
2 Можливість використання смартфонів для вимірювання освітленості при атестації робочого місця.....	16
3 МАТЕРІАЛИ та методи дослідження	18
3.1 мобільні телефони та програми	18
3.2 Експериментальні умови та процедури	19
3.3 Аналіз даних	20
3.4 Характеристика люкметра аналогового.....	21
3.5 Характеристика люкметра цифрового	22
4 Аналіз отриманих результатів	25
4.1 Операційна система.....	26
4.2 Мобільні додатки для визначення освітленості.....	28
4.3 Смартфони	34
4.4 Вимірювання освітленості за допомогою люкметрів.....	37
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	42
Висновки	52
Перелік посилань.....	55

ВСТУП

Актуальність роботи. Люксометр – прилад для вимірювання освітленості, який використовується для вимірювання кількості світла, що падає на певну ділянку поверхні на певній відстані від джерела світла. Люксометри використовуються в широкому діапазоні промислових застосувань, найголовнішим чином при проведенні атестації робочого місця за умовами праці. Люксометри, будучи електронним приладом, під час роботи зношуються, що призводить до неточних і помилкових показань у виміряному значенні освітленості.

Це може призвести до збитків (навіть грошових і матеріальних) і погіршити якість продукції. Що стосується вивчення умов праці, це може навіть привести до виникнення небезпечної ситуації або зменшення продуктивності праці. Отже, люксометри потрібно періодично перевіряти та ремонтувати (за необхідності).

На даний час, коли актуальним стає диджиталізації усіх сфер життя, даний процес торкається і забезпечення безпеки праці. Майже кожен має сучасний смартфон, який за допомогою додатків допомагає вирішити багато задач. Але відсутня інформація щодо можливості його використання для проведення атестації робочих місць за умов праці.

Крім того, поступово лампи розжарювання та люмінесцентні лампи замінюються на сучасні LED-світильники. Яким чином можна використовувати звичайні люксометри для оцінки освітленості приміщення світлодіодними джерелами наукова література не має достатніх публікацій. Відсутня наукова інформація щодо порівняння результатів вимірювання при використанні різних джерел світла. Тому актуальність роботи полягає у тому, що є необхідність у вдосконаленні методики проведення атестації робочих місць, проведенні калібрування люксометра для того, щоб контролювати інтенсивність світла в

приміщенні, щоб переконатися, що нормована кількість світла падає робочу поверхню.

Мета дослідження: Вдосконалення методики вимірювання освітленості при проведенні атестації робочих місць за умовами праці.

Завдання дослідження:

- Встановити гігієнічні вимоги до освітлення.
- Вивчити методику проведення атестації робочих місць, встановити метрологічне забезпечення проведення вимірювань параметрів робочого місця.
- Проаналізувати існуючі методи натурних вимірювань освітленості промислових підприємств.
- Провести вимірювання освітленості за допомогою цифрового та аналогового пристрою, виконати статистичну обробку отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – рівень освітленості робочого середовища.

Предмет дослідження – вимірювання рівня освітленості при проведенні атестації робочого місця за умовами праці.

Методи дослідження: аналіз сучасної літератури з досліджуваної теми, описово-аналітичний метод, порівняльний, систематизації отриманих результатів, інструментальні, обробки статистичних даних.

Практичне значення отриманих результатів: результати дослідження є підставою для удосконалення методики вимірювання освітленості виробничого середовища при проведенні атестації робочих місць за умовами праці.

Наукова новизна полягає у підготовці рекомендації щодо вдосконалення методики вимірювання освітленості при проведенні атестації робочих місць.

Апробація результатів. Результати роботи було представлено на [1-3]:

- Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту»* (Одеса, квітень 2023);
- Всеукраїнській науково-практичній конференції курсантів, студентів, ад'юнктів *«Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених»* (Черкаси, 12 травня 2023);
- IX Всеукраїнській науково-практичній конференції *«Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України»*, (Київ, 28 квітня 2023 року).
- II Всеукраїнській науково-практичній конференції пам'яті академіка Академії наук вищої освіти України, професора Анатолія Володимировича Касперського *«Актуальні проблеми та перспективи розвитку фундаментальних, прикладних, загальнотехнічних та безпекових наук»*, (Київ, 21 червня 2023 року).

1 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Кількісні характеристики освітлення

Рациональне виробниче освітлення робочого місця – одна із найголовніших складових необхідних та безпечних умов праці. Нормоване освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці та забезпеченню умов безпеки, зменшується стомлюваність працівників.

Освітленість – фізична величина, що є характеристикою освітлення робочої поверхні, яке створюється світловим потоком, що падає на цю поверхню. Освітленість пов'язана із силою джерела світла прямою пропорційністю. Освітлення описується кількісними характеристиками такими як світловий потік Φ (лм), сила світла I (кд), освітленість E (лк), яскравість L (кд/м²) та показник засліпленості P [4].

Освітлення за джерелом світла розділяють на: природне освітлення (за рахунок сонячного світла та інсоляції), штучне освітлення (застосовуються лише штучні джерела світла) і поєднане або змішане, коли нестаток природного освітлення доповнюють штучними джерелами світла.

Рівень природного освітлення може коливатися у межах – від 0,25 лк у зоряну ніч і до 100 000 лк при яскравому сонці. Ввечері зовнішня освітленість зазвичай зменшується до 100 лк, у сутінки – до 5 лк. Вважається, що мінімальна освітленість, при якій людина може розрізнити предмети – 0,0007 лк.

У виробничих приміщеннях інтенсивність освітлення значно знижується, оскільки світло надходить не прямо та закривається іншими будинками, деревами. В літній період на південній стороні біля вікна освітленість може досягати від 3000 лк до 5000 лк, а вже у середині приміщення знижується у декілька разів. На відстані від 2 м до 3 м від вікна освітленість може бути всього 500 лк.

Для ока людини світло – це енергетичні хвилі (рисунок 1.1) із довжиною від 380 нм (фіолетовий) до 780 нм (червоний). Необхідні для фотосинтезу хвилі світла розміщуються в інтервалі 700 нм (червоний) та 450 нм (синій). Це має

значення для застосування штучного освітлення за допомогою різних ламп та світильників, світла дисплеїв комп'ютерів та гаджетів. При цьому не можна добитися рівномірного розподілу хвиль із різною довжиною, як при сонячному світлі. Конструкція лампи може сприяти тому, що деякі частини спектру стають більш інтенсивними, інші менш.



Рисунок 1.1 – Шкала електромагнітних випромінювань

Вплив спектру освітлення впливає на стан працівників, наприклад холодне світло зменшує рівень сонливості, сприяє покращенню концентрації уваги. Це можна пояснити пригніченням короткими хвилями (УФ, синій колір) мелатоніну. За допомогою цього гормону регулюються добові ритми. А яскравість такого світла допомагає подолати депресію.

Освітлення з використанням холодного світла протягом дня слід обмежувати. І це при достатньому рівні освітлення, що не вимагає напружувати зір або мружитися. Ввечері корисно використовувати приглушене тепле світло. Це буде сприяти розслабленню, повному відпочинку, засинанню. Слід уникати яскравого спалаху світла, особливо це стосується холодного тону.

Поширеним джерелом штучного освітлення є використання електричної енергії у вигляді ламп розжарювання чи газорозрядних (люмінесцентних) ламп. Суттєвий їх недолік – висока яскравість понад 50 000 кд. Не рекомендується у одному виробничому приміщенні використовувати і лампи розжарювання, і люмінесцентні лампи, це має негативний вплив на зір. При роботах середньої або високої точності (письмо, читання) слід використовувати такі конструкції

світильників, які б оберігали очі від прямого впливу світлових променів. Кут між лінією погляду до джерела світла і краєм абажура повинен бути більше ніж 30° .

1.2 Гігієнічні вимоги до освітлення

Метою виробничого освітлення є забезпечення нормованої освітленості робочих місць та високої якості – рівномірний розподіл яскравості на робочому місці, відсутність сліпучої дії та різких тіней особливо рухаючих.

При наявності у полі зору поверхні з рівнем освітленості, який суттєво відрізняється від освітленості всього робочого місця, при переадаптації зменшується чутливість зорового аналізатора, підвищується втомлюваність, порушується навіть координація руху, зменшується працездатність, збільшується небезпека виробничого травматизму. Для попередження виникнення таких неприємних та небезпечних наслідків виконують важливу гігієнічну вимогу: на відстані 0,5 м освітленість повинна бути більше 50 % освітленості у центрі робочого місця, а на периферії 5 м – не менше 30 %. При чому загальна освітленість виробничого приміщення повинна бути меншою до 30 % від освітленості у його центрі. Це правила виконують при організації локального освітлення. При забезпеченні загального рівномірного освітлення воно повинно бути однаковим у будь-якій точці робочого приміщення.

Нормування здійснюється також з урахуванням перепаду освітленості при переході з одного виробничого приміщення до іншого – співвідношення рівня освітлення не повинно відрізнятися від співвідношення 1:3.

При створенні проекту освітлення виробничого приміщення приділяють увагу не тільки освітленості E (лк) та рівномірності, ще обов'язково слід враховувати яскравість поверхні. Її вимірюють у канделах, це величина залежить від рівня освітленості. Відповідно до умов зорової роботи слід вважати оптимальною яскравість в інтервалі від 50 кд до 1000 кд. Яскравість понад 5000 кд викликає зоровий дискомфорт, при яскравості понад 30000 кд виникає засліплення, а понад 150000 кд – відмічається больовий ефект.

Виробничу діяльність людини не можна уявити без застосування штучного висвітлення. Воно вкрай необхідно у темний час доби, при виконанні високоточних операцій із дрібними деталями.

Найпростішим методом приблизної гігієнічної оцінки достатності природного освітлення приміщень є розрахунок світлового коефіцієнта. Він розраховується як відношення площі поверхні вікон до площі підлоги виробничого приміщення. Встановлено наступні гігієнічні нормативи світлового коефіцієнта: для житлових приміщень він становить не менше 1:8, у навчальних аудиторіях та лабораторіях – 1:5.

Але світловий коефіцієнт може бути достатньо високим і відповідати нормативам, а фактична освітленість робочого місця, що віддалено від вікна може бути низькою. Це, може бути пояснене конфігурацією приміщення, якщо робоче місце дуже віддалено від вікна. Використовують показник, що нормує дану величину, це коефіцієнт поглиблення, що розраховується як співвідношення відстані від площини вікна до протилежної стіни до відстані верхнього краю вікна до підлоги. Відповідно до гігієнічних нормативів цей коефіцієнт має бути понад 2.

Крім того, великі об'єкти, що можуть знаходитись у приміщенні, можуть суттєво впливати на реальну освітленість на робочому місці. Обов'язково нормується коефіцієнт природної освітленості (КПО, %), але для його визначення використовують люксметр, за допомогою якого вимірюють фактичну освітленість зовні та всередині виробничого приміщення. КПО нормується відповідно до ДБН В. 2.5-28 Природне та штучне освітлення [5]:

$$KPO = \frac{E_{\epsilon}}{E_n} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

Нормоване значення КПО (e_n) для будівель та споруд визначають за формулою:

$$E_N = e_n \cdot m \quad (1.2)$$

де e_n – значення КПО за таблицею «Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень» [5];

m – коефіцієнт світлового клімату [5];

Штучне освітлення також нормується відповідно до ДБН В. 2.5-28 Природне та штучне освітлення [5], в якому встановлено норми відповідно до розряду зорової роботи.

Потреби в освітленні залежать від таких факторів, як характер роботи, вік працівників, гострота зору, властивості робочих поверхонь. Міжнародні стандарти, а саме EN 12464-1 Освітлення робочих місць у приміщенні [6] та ISO 8995-1 Принципи зорової ергономіки. Освітлення робочих систем усередині приміщень [7], надають рекомендації щодо характеристик освітлення відповідно до виду діяльності, що виконується. Конкретний тип вимірювального приладу повинен відповідати стандарту ДСТУ ISO/IEC 19476 Вимоги до характеристик приладів для вимірювання освітленості та яскравості [8].

1.3 Вимірювання освітленості за допомогою спеціальних приладів

Для оцінки освітлення виробничого середовища використовують як кількісні, так і якісні показники: яскравість, контрастність, силу світла, світловий потік), але найголовнішим показником, що є освітленість.

Освітленість за міжнародною системою одиниць вимірюється у люкс (лк). Один люкс – це освітленість поверхні площею 1 м^2 , при світловому потоці, що падає і дорівнює 1 люмен (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Освітленість (люкс)

Освітлення на робочому місці проводять з урахуванням вимог ДСТУ Б В.2.2-6 Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості. Цим стандартом встановлено методика вимірювання як мінімальної, так і середньої освітленості, а також встановлення КПО коефіцієнта природного освітлення у приміщеннях виробничої будівлі, спорудах та на кожному робочому місці, а на вуличній території, внутрішніх дворах підприємства, дорогах, майданчиках, тунелях.

Для встановлення рівня освітленості слід використовувати люксметри які пройшли перевірку, мають відповідні документи. Прилад розміщують горизонтально на робочій поверхні, на столі або іншому робочому місці.

Прилад розміщують на поверхні робочого місця, для якого слід визначити освітленість. Обов'язково розміщують світлочутливий елемент у тій точці, де слід визначити освітленість та паралельно робочої поверхні. Тільки після цього можна знімати показання приладу як аналогового, так і цифрового.

Досліджується окремо природне освітлення із розрахунковим КПО та порівнянням із нормою та штучне освітлення із підготовкою проекту методом світлового потоку, питомої потужності ламп або точковим методом. після встановлення вибраних світильників вимірюють освітлення на робочому місці та порівнюють із встановленою нормою. При самому вимірюванні необхідно прилад розміщувати таким чином, щоб тінь не потрапляла на прилади, а також можуть ЕМ-випромінювання завадити отриманню вірних значень. Це може додати похибки у отримані результати. Після виконання вимірювання розраховують відхилення від встановлених нормативів та роблять висновок про умови праці на даному робочому місці: чи буде достатнім освітлення виробничого приміщення або території підприємства.

На кожен серію вимірювань для кожного робочого місця оформлюють окремий протокол. Узагальнений результат оформлюють у кожному приміщенні виробництва. Цього вимагає ДСТУ Б В. 2.2-6 (ГОСТ 24940) Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості.

Освітлення аналізують не рідше, ніж один раз на місяць, а при застосуванні комбінованого освітлення вимірюють освітленість для місцевих світильників, для загального освітлення та разом при застосуванні повного освітлення приміщення.

Для отримання достовірного результату слід очищувати світильники та виконати заміну ламп, що вийшли із ладу. Дослідження КПО коефіцієнта природної освітленості за допомогою люксметра виконують з врахуванням розташування найдалшого робочого місця від вікна. Причому слід обов'язково проводити очищення вікон.

1.4 Норми освітленості робочого місця

Нормативними документами встановлено допустимі значення освітленості на робочому місці залежно від типу виконуваної роботи (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень (ДБН В. 2.5-28)

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Штучне освітлення	
				Освітлення, Лк	КПО, %
				Загальне освітлення	Бічне освітлення
Середньої точності	0,5-1	IV	а	300	1,5
			б	200	
			в	200	
			г	150	
Малої точності	1-5	V	а	200	1,0
			б	150	
			в	150	
г	100				
Груба	Більше 5	VI	–	150	0,5

2 МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СМАРТФОНІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕНOSTІ ПРИ АТЕСТАЦІЇ РОБОЧОГО МІСЦЯ

Сучасні можливості мобільних пристроїв дозволяють вимірювати освітлення за допомогою смартфонів, що набули широкої на споживчому ринку популярності з появою iPhone від Apple, який пропонував зручні функції, такі як інтерфейс сенсорного екрану та віртуальна клавіатура. Приблизно 2,6 млрд. людей володіють смартфонами з 2017 року. Кількість користувачів смартфонів зросла на 89 % з 2013 року і становить понад 4 млрд власників мобільних телефонів. Інтеграція різних типів датчиків (апаратного забезпечення) та розробка багатьох додатків (програмного забезпечення) перетворили смартфони на цікаві вимірювальні прилади з величезним потенціалом у багатьох різних областях. Їх портативність, повсюдність, постійне підключення до мережі та вартість залучили розробників програмного забезпечення використовувати вбудовані датчики для різних цілей, у тому числі для вимірювання освітленості.

Вищезгадані факти дозволили поставити наступні питання:

- Чи можна використовувати додаток на базі смартфона для вимірювання рівня освітленості?

- Чи достатньою буде точність вимірювання? Чи можна смартфон використовувати на заміну спеціального та повіреного люксметра?

Існує два різних підходи до вимірювання освітленості за допомогою програм на основі смартфонів: деякі покладаються на одну або обидві камери, а інші використовують вбудований датчик освітленості, спеціально розроблений для вимірювання яскравості навколишнього освітлення, а потім автоматично регулюють яскравість дисплея. Крім того, існують невеликі насадки для смартфонів, такі як Lumi виключно для телефонів iOS і Luxi доступною як для систем iOS, так і для Android.

Однак точність вимірювання залишається сумнівною. Було опубліковано кілька досліджень щодо вимірювання рівнів шуму за допомогою смартфонів [9]

і вимірювання вібрації тіла людини [10], є і поодинокі спроби визначення можливості вимірювання освітленості [11] смартфонами. Голдшмідт [11] протестував 7 мобільних телефонів, що працюють на різних операційних системах (3 iOS, 3 Android і 1 Windows), і три еталонні освітленості (100 лк, 500 лк і 1000 лк) були встановлені на горизонтальній платформі для тестування 7 програм: 3 iOS, 3 Android і 1 Windows. Автор стверджує про сумніви щодо використання смартфонів для визначення рівня освітленості.

Крім того, вимірювальні прилади повинні бути відкалібровані за відомими стандартами, щоб можна було довіряти, що їхні результати мають загальновизнане значення. Хоча деякі програми, які використовував Голдшмідт [8], можна було відкалібрувати, часто неможливо було точно встановити значення.

В даній роботі проведено аналіз здатності смартфонів точно вимірювати освітленість і оцінювати самі програми та платформи, які використовуються для їх розміщення. З огляду на цю мету, було обрано набір мобільних телефонів і додатків, а також були встановлені інші умови тестування.

Таким чином, у нашому дослідженні ми порівнювали можливості люксметра та смартфонів. Якщо така заміна справді себе виправдовує, це стало б не те щоб революцією, але, як мінімум, дуже вигідною пропозицією. Точний прилад люксметр – прилад недешевий. А ось смартфон є практично у кожного. І спеціальні програми або безкоштовні, або коштують дешево. Метою дослідження стало порівняння результатів роботи відповідних додатків із показниками повіреного люксметра. Оскільки мобільні додатки можливо було би використовувати не тільки на робочому місці, а і для визначення рівня освітленості на дорозі, або для оцінки роботи фар автомобіля для забезпечення безпеки та зорового комфорту учасників дорожнього руху.

3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Мобільні телефони та програми

Дослідження виконано із використанням різних смартфонів. Використано 6 смартфонів: 3 – на платформі Apple iOS, а 3 – на базі Android від Google. У таблиці 3.1 наведено список виробників і моделей протестованих телефонів і відповідних операційних систем.

Таблиця 3.1 – Марка, модель і операційна система смартфона

Операційна система	Модель
Android	Xiaomi 11T
Android	Samsung Galaxy A52
Android	Huawei P40 lite
iOS	iPhone 6S
iOS	iPhone 9S
iOS	iPhone 11

Вибирали смартфони за наступним критерієм: можливість повідомляти значення освітленості; доступність та безкоштовність мобільних додатків. У той час як програми на базі Android і Windows покладаються на датчик світла телефону для вимірювання рівня освітленості, розробникам програм для системи iOS доводиться використовувати камери.

У таблиці 3.2 наведено повний список з 10 протестованих програм. 4 програми на базі Android дозволили виконати калібрування. Хоча в одній програмі, розробленій для платформи iOS, зазначено, що вона має цю функцію, оскільки вона не працювала належним чином, додаток не вдалося повноцінно використати.

Таблиця 3.2 – Програмне забезпечення

Додаток	Виробник	Операційна система	Можливість калібрування
Light Meter	Trajkovski Labs	Android	+
Light Meter Pro	Mannoun.Net	Android	+
Lux Light Meter & Tools - Фотометр PRO	Przemek Pardel	Android	+
Lux Meter	waldau- webdesign.de	Android	-
Легкий метр - ЛЮКС	Simple Apps Studios	Android	+
Люксметр : Smart Luxmeter	Smart Tools co.	Android	+
Люксметр	Vlad Polyanskiy	iOS	+
Luxmeter	Doggo Apps	iOS	-
Galactica Luxmeter	Flint Soft Ltd.	iOS	-

3.2 Експериментальні умови та процедури

Тепле біле, прохолодне денне біле і природне біле світло було отримано за допомогою двох компактних люмінесцентних ламп (2700 К та 6500 К) та однієї світлодіодної лампи (4000 К) відповідно.

Різні рівні освітленості були отримані для кожного джерела світла шляхом зміни відстані між лампою та мобільним пристроєм. Також для визначення точного значення використовували спеціальний люксметр. Випробування були завершені при рівнях освітленості 100 лк, 500 лк, 750 лк і 1000 лк.

Порядок визначення корельованої колірної температури (ККТ) був рандомізований для кожного мобільного пристрою, а порядок рівня освітленості та програми було рандомізовано в межах кожного ККТ.

Перед кожним випробуванням рівень освітленості вимірювали цифровим

люксметром LX1010В з з максимально допустимою похибкою $\pm 3 \%$. Дані значення вважалися еталонними. Звичайно, прилад був повірений.

Детектор люксметра і датчик освітленості/передня камера смартфона були розміщені по осі під світильником посередині горизонтальної платформи висотою 70 см. Щоразу, коли додатки вимагали калібрування, процес завершувався з рівнем освітленості 100 лк до початку випробувань.

3.3 Аналіз даних

Аналіз даних проводився за допомогою використання можливостей Excel.

Відносні парні відмінності між вимірюваннями освітленості стандарту та тестами (додатками) були обчислені за допомогою рівняння.

$$\delta = \frac{E_{mob} - E_{lux}}{E_{lux}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

де E_{mob} – показання мобільного додатку (лк);

E_{lux} – значення, отримані за допомогою люксметра (лк).

Таким чином, відносна різниця в нуль буде вказувати на ідеальну відповідність між програмою та фактичним значенням освітлення. Чим більше абсолютне значення відносної різниці, тим нижча точність пристрою або додатку.

Для оцінки мінливості відносних відмінностей між додатками та моделями телефонів використовувався стандартний аналіз діаграм. Описова статистика дозволила визначити продуктивність операційної системи, програми та телефону. За критерій відхилення нульової гіпотези був прийнятий рівень значущості 0,05.

3.4 Характеристика люксметра аналогового

Людським оком неможливо виміряти абсолютну величину інтенсивності освітлення, оскільки людина пристосовується до зміни освітлення. Зазвичай вимірюють освітлення виробничого приміщення із допомогою спеціального пристосованого для цього приладу – люксметра (3.1).



Рисунок 3.1 – Зображення аналогового люксметра Ю-116

Люксметр – це зручний прилад для вимірювання яскравості, інтенсивності освітлення, який можна вважати різновидом фотометру, із його допомогою легко вимірюють освітленість на робочому місці.

Простий люксметр має фотоелемент, у якому перетворюється світлова енергія на енергію електричного струму. Основою його роботи є принцип фотоелектричного ефекту: світлові промені, що потрапляють на напівпровідникові фотоелементи, передають енергію електронам. Світловий потік, що потрапляє на фотоелемент, звільняє у напівпровіднику потік електронів. За рахунок такого явища відбувається передача електричного струму

фотоелементом. Вимірювана величина електроструму має прямо пропорційну залежність від освітленості, що фіксується фотоелементом. Це і показує прилад на шкалі. У аналогового пристрою градування наведеної шкали ведеться в люкс, а отриманий результат відмічають при відхиленні стрілки (рисунок 3.1).

3.5 Характеристика люксметра цифрового

Але аналогові прилади поступово замінюються цифровими (рисунок 3.2). Результати вимірювання можна спостерігати на рідкокристалічному дисплеї. Вимірювальні елементи у більшості з них розташовані в спеціальному відділенні корпусу і пов'язані з гнучким пристроєм. За рахунок цього проводиться вимірювання навіть у незручних та важкодоступних об'єктах. За допомогою комплекту світлофільтрів слід підбирати і регулювати необхідні межі застосування приладу. У такому разі зняті значення приладу множать на відповідні коефіцієнти.



Рисунок 3.2 – Цифровий люксметр

Цифровий люксметр LX1010B (рисунок 3.2.) використовується для

проведення вимірювання освітленості робочого місця в інтервалі від 1 лк до 100000 лк.

Особливості роботи люксметра:

- 3 межі вимірювання з ручним перемиканням;
- можливість автоматичного калібрування;
- РК-дисплей із цифровими індикаторами;
- наявність функції утримання результатів вимірювання на дисплеї;
- індикатор заряджання батареї;
- датчик закріплений таким чином, що є можливість його повороту на 180° вправо та на 90° вліво;
- датчик закривається захисним ковпачком;
- прилад зручно кріпиться на зап'ястя за допомогою реміні.

Порядок роботи із приладом:

1. Необхідно встановити батарею 9 В у відділ живлення, слід дотримуватися полярності.
2. Для початку роботи необхідно встановити перемикач режимів роботи у положенні «ON», не цьому не слід знімати захисний ковпачок з датчика.
3. Тільки після отримання позначки «000» на дисплеї ковпачок можна знімати.
4. Далі знімають отримане на дисплеї значення. На цифровому індикаторі показано старші розряди значення, у нижній частині дисплею є показник *1, *10 або *100. Для отримання вимірюваного значення слід показання дисплею помножити на 1, 10 або 100.
5. Для змінення межі вимірювання можна встановлювати перемикач меж у положення, яке буде відповідати необхідному інтервалу. При отриманні у лівій частині дисплею повідомлення «1», можна встановити наступну межу вимірювання.
6. Для утримання вимірюваного значення на дисплеї слід перемикач режиму роботи встановити у положення «HOLD», при цьому буде відображено

індикатор.

7. Після закінчення роботи з приладом слід закріпити захисний ковпачок на світлочутливий елемент і встановити перемикач режиму роботи у положення «OFF».

Технічні характеристики приладу наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристика цифрового люксметра LX1010B

Діапазон виміру, люкс	1 - 100000
Межі вимірювання, люкс	2 000, 20 000, 100 000
Похибка вимірювання	4 %
Швидкість опитування датчика	2 рази за секунду
Повторюваність	2 %
Живлення приладу	Батарея 9В типу «Крона»
Умови експлуатації	(0...40) °С, вологість (10...90) %
Розміри, мм; вага, г	165 x 65 x 35; 120
Відповідність стандартам	ISO 13485. ISO 9001

4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

На рисунку 4.1 представлена діаграма розсіювання, що порівнює значення освітленості, виміряні за допомогою мобільних пристроїв, із показаннями спеціального люкметра за попередньо визначених еталонних умов: 300 лк, 500 лк, 750 лк і 1000 лк. Можна спостерігати ступінь зміни виміряних рівнів освітленості. Крім того, чим вище еталонне значення освітленості, тим більше дисперсія виміряних значень.

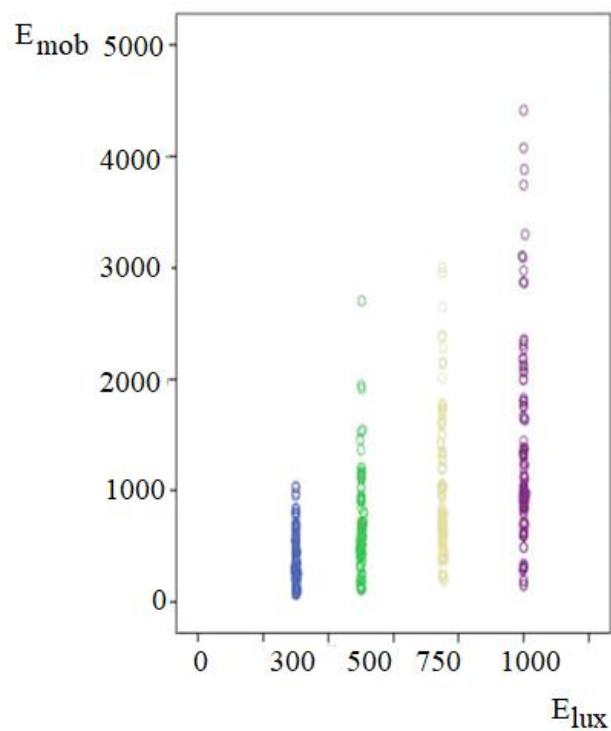


Рисунок 4.1 – Порівняння виміряних значень освітленості (E_{mob}) за допомогою смартфонів із показаннями люкметра (E_{lux})

У таблиці 4.1 наведена статистика відносної різниці між значеннями, виміряними за допомогою смартфонів, і значеннями стандарту (що отримано за допомогою люкметра). Відхилення від значень освітленості стандарту були надзвичайно високими, а точність смартфонів була набагато нижчою, ніж виявлена Гольдшмідтом [11].

Таблиця 4.1 – Описовий аналіз, що показує результати тестування за еталонними умовами освітленості з точки зору відносних відмінностей освітленості

Е (лк)	Кількість вимірювань	Середнє відхилення, %	Відхилення Min, %	Відхилення Max, %	Середньоквадратичне відхилення SD	Стандарт на похибка SE
300	90	24,26	мінус 77,67	244,67	70,71	6,02
500	90	26,81	мінус 78,00	439,04	77,37	6,59
750	90	23,71	мінус 74,77	300,40	73,39	6,25
1000	90	24,89	мінус 84,90	341,20	79,78	6,79

У той час як найнижчі вимірювання були майже на 85 % нижче контрольного значення 1000 лк, найвищі показники були на 439 % вище рівня 500 лк. Ці результати вказують на те, що смартфони не вимірюють освітленість так точно, як спеціальний люксметр на попередньо встановлених рівнях освітленості.

4.1 Операційна система

Аналіз взаємозв'язку між точністю вимірювань та операційною системою виявив, що серед середніх значень відносних відмінностей освітленості існують статистично значущі відмінності ($p < 0,001$). Звернувши увагу на вплив еталонних умов освітлення (таблиця 4.2), можна побачити, що різні платформи мають суттєво різні рівні точності. У той час як платформа iOS систематично недооцінює рівень освітленості, операційні системи Android надмірно вимірює справжній рівень освітленості.

Таблиця 4.2 – Зв'язок між точністю вимірювання та операційною системою телефону при кожній попередньо встановленій освітленості

Е, лк	Платформа	N	Середнє відхилення, %	Середньоквадратичне відхилення SD	Стандартна похибка SE	χ^2	p
100	Android	54	35,82	66,87	7,05	28,08	<0,001
	iOS	36	мінус 12,96	77,72	12,95		
500	Android	54	42,02	82,17	8,66	27,58	<0,001
	iOS	36	мінус 19,30	55,62	9,27		
750	Android	54	38,37	76,01	8,01	40,79	<0,001
	iOS	36	мінус 21,39	58,10	9,68		
1000	Android	54	42,03	82,73	8,72	41,56	<0,001
	iOS	36	мінус 26,28	60,73	10,12		

Таблиця 4.3 показує, що статистично значущі відмінності також були виявлені серед продуктивності операційних систем з точки зору точності вимірювання освітленості при кожному контрольному стані ККТ.

Таблиця 4.3 – Зв'язок між точністю вимірювання та операційною системою телефону на кожному попередньо встановленому ККТ

ККТ	Платформа	N	Середнє відхилення, %	Середньоквадратичне відхилення SD	Стандартна похибка SE	v^2	p
2700	Android	54	54,15	73,02	6,67	99,768	<0,001
	iOS	36	мінус 54,44	20,55	2,96		
4000	Android	54	13,07	37,38	3,41	55,30	<0,001
	iOS	36	мінус 27,68	65,40	9,44		
6500	Android	54	51,46	100,30	9,16	16,40	<0,001
	iOS	36	22,17	65,92	9,51		

4.2 Мобільні додатки для визначення освітленості

На даний час існує велика кількість програм, які рекомендуються для встановлення на мобільні пристрої для вимірювання освітлення виробничого приміщення. Більша частина з них має деякі переваги, характеризуються яскравістю, простою використання, дешевизною. Приведемо характеристики деяких.

Light meter - lux meterSound analyzer

Додаток використовує датчик освітленості смартфона. Це дуже простий та легкий спосіб перевірити рівень освітлення. Особливості: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, демонструє отримані дані освітленості у люкс, працює у режимі реального часу, показує мінімальне, максимальне та середнє значення, мова англійська (рисунк 4.2).



Рисунок 4.2 – Робота мобільного додатку Light meter - lux meterSound analyzer

Операційна система – Android.

Дата випуску: 30 березня 2019 року.

Постачальник – Nextappsgen.

Недоліки: додаток працює тільки на нових смартфонах при наявності вбудованого датчика освітленості. Розробники попереджають, що точність вимірювання залежить від точності датчика пристрою. На жаль, значення можуть суттєво відрізнятись від реального освітлення.

Lux Light Meter Pro

Додаток Lux Light Meter Pro характеризується високою точністю вимірювання світла; одиниці вимірювання люкс (рисунок 4.3). На екрані показуються мінімальна, середня та максимальна можлива яскравість. Пристрій можна калібрувати перед використанням додатку. Дані зберігаються в пам'яті із назвою, датою та часом, є можливість експорту своїх вимірювань у вигляді списку.

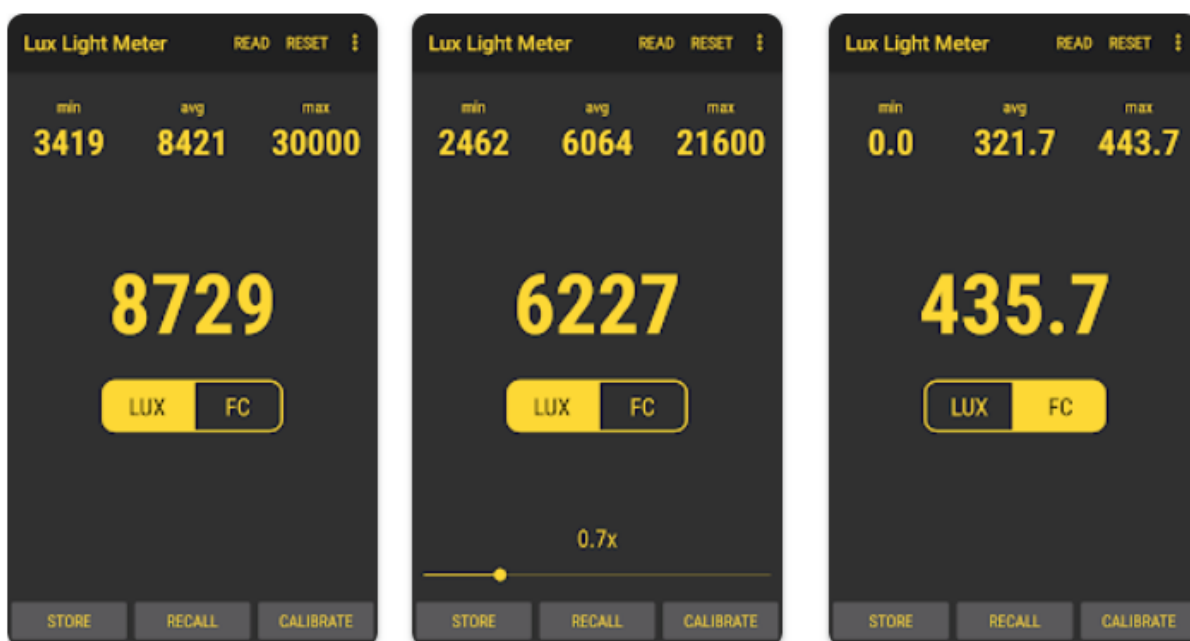


Рисунок 4.3 – Робота мобільного додатку Lux Light Meter Pro

Операційна система – Android.

Дата випуску: 6 січня 2017 року, оновлення – 14 січня 2022 року.

Постачальник - Doggo Apps.

При дослідженні зв'язку між додатком та точністю вимірювань простежується візуальна розбивка розподілу відносної різниці між показаннями стандарту та вимірними даними за допомогою додатку.

Програми на базі Android, що представляють функції калібрування, виявили значно нижчі середні відхилення від еталонних значень, ніж ті, у яких немає можливості калібрування ($p < 0,001$). Тим не менш, найкраща середня відносна різниця становила 31,1 % (додаток Light meter Pro), тоді як найгірша була 50,8 % для програми «Люксеметр: Smart Luxmeter». Той факт, що деякі програми мають функцію калібрування, не обов'язково означає, що вона буде налаштована точно та відобразить точні вимірювання.

Як правило, всі додатки iOS відображали значення нижче контрольних рівнів (відносні медіани різниці були негативними) і демонстрували статистично значущі різні показники ($p < 0,001$).

Galactica була єдиним додатком, який працював на iOS, який ми змогли знайти, щоб збігатися з додатком, попередньо протестованим Голдшмідтом [11]. Програми додаються та видаляються з магазинів додатків щодня, а функції та оновлення відбуваються регулярно. Результати дивують. Тільки в одному випадку при вимірюванні 500 лк смартфон iPhone показав результат у 494, що є дуже близьким значенням. У решті випадків вимірювання були в інтервалі від 37 % до 113 %. На рисунок 4.4, 4.5 наведено дані дослідження з використанням всіх смартфонів, що вибрані для аналізу, та додатків «Galactica» (iOS) та «LightMeter» (Android).

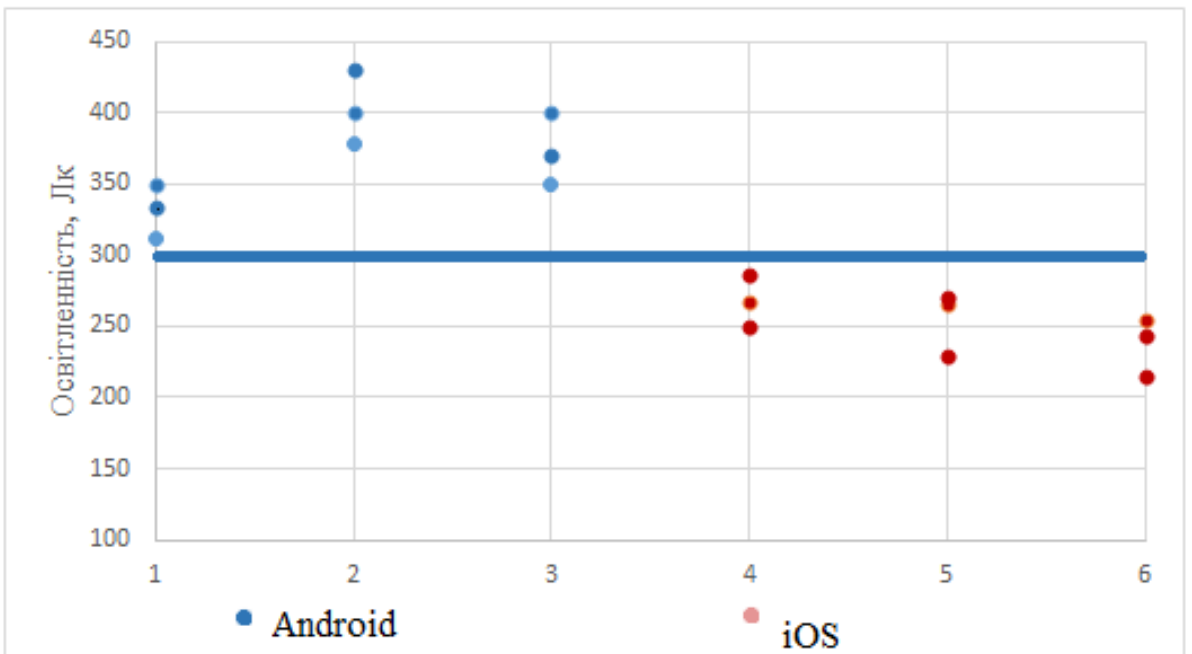
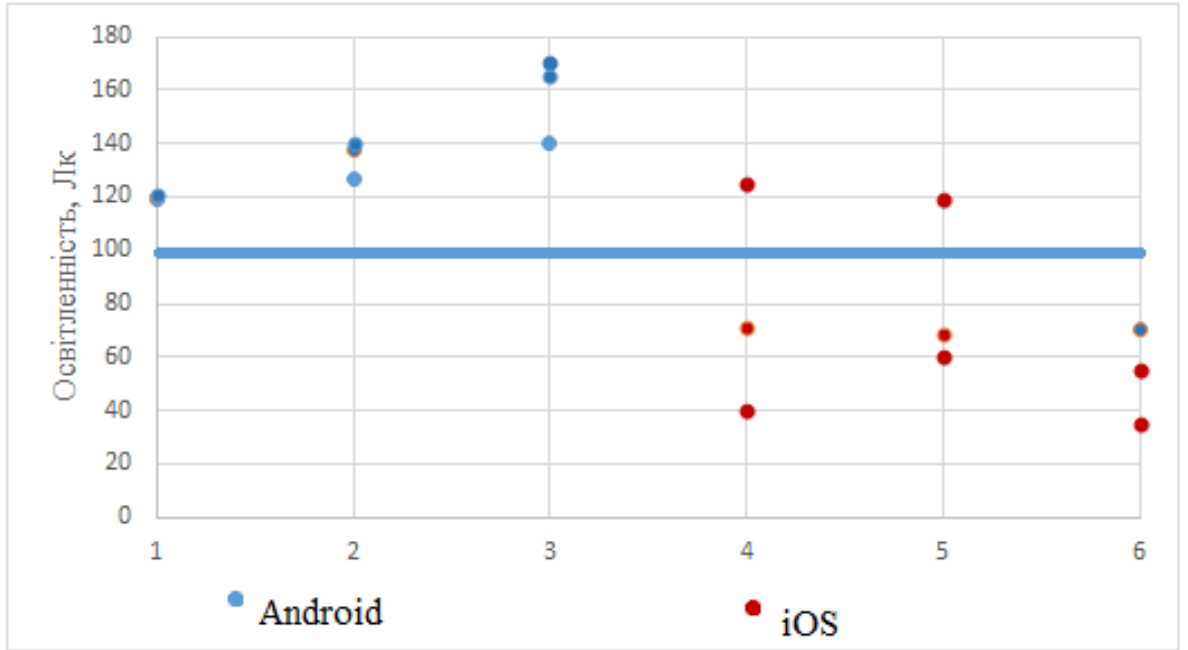


Рисунок 4.4 – Розподіл даних відносної різниці між виміряними та контрольними значеннями за програмою Light Meter (Android) та Galactica (iOS) при освітленні 100 лк та 300 лк

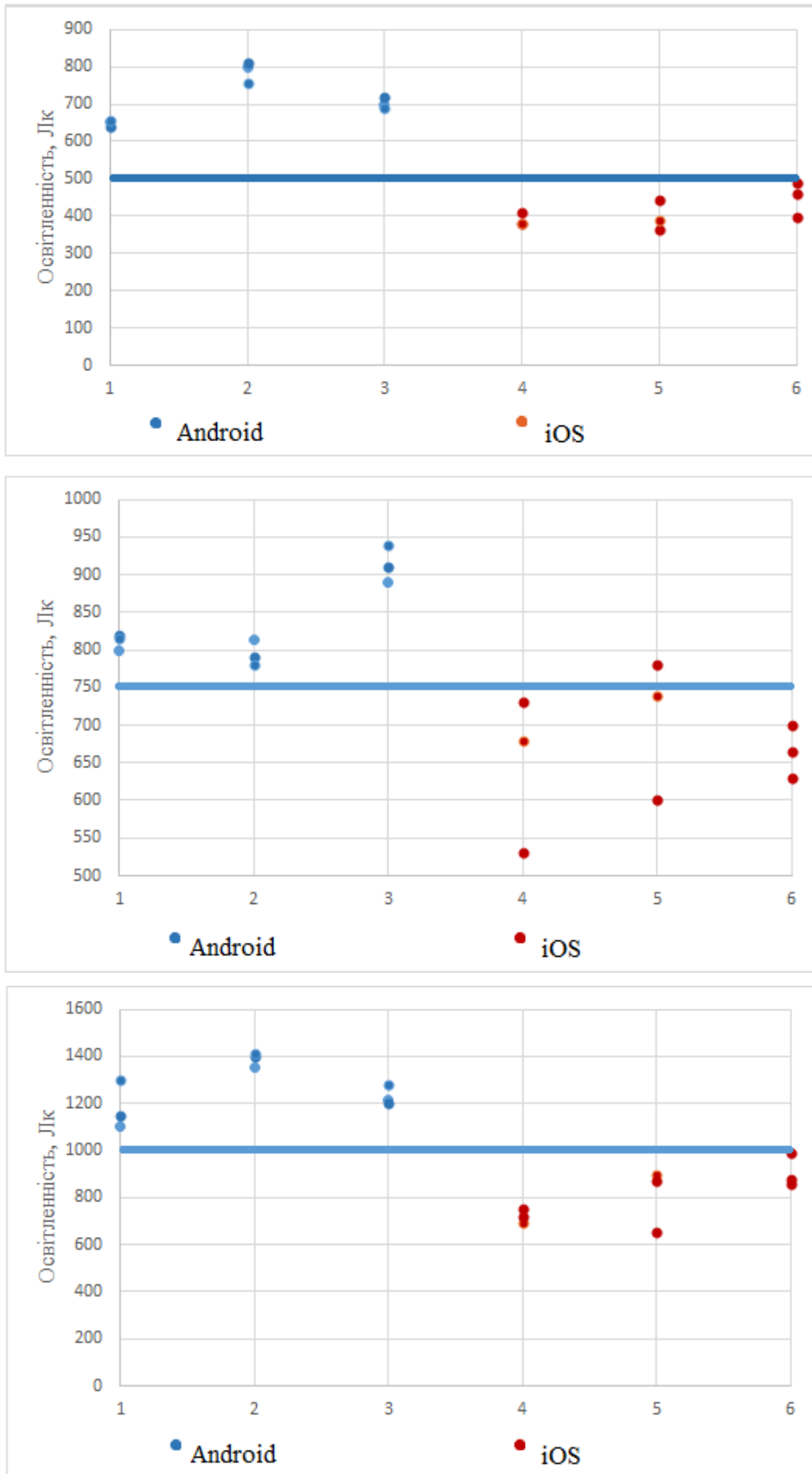


Рисунок 4.5 – Розподіл даних відносної різниці між вимірними та контрольними значеннями за програмою Light Meter (Android) та Galactica (iOS) при освітленні 500 лк, 750 лк та 1000 лк

Запропоновано критерії для вибору необхідного програмного забезпечення (таблиця 4.4). За кожним критерієм додатку присвоєно бал від 1 до 3.

Таблиця 4.4 – Критерії оцінки використання програмного забезпечення для визначення умов освітленості

Додаток	Зручність	Можливість калібрування	Точність вимірювання
Light Meter	3	3	1
Light Meter Pro	3	3	3
Lux Light Meter & Tools - Фотометр PRO	2	3	2
Lux Meter	2	1	3
Легкий метр - ЛЮКС	2	2	2
Люксметр : Smart Luxmeter	3	2	1
Люксметр	3	2	2
Luxmeter	2	1	1
Galactica Luxmeter	2	1	2

За зібраними даними розраховано сумарний критерій оцінювання мобільного додатку, що вміщує оцінку зручності та зрозумілості інтерфейсу програми, можливості калібрування та точності вимірювань (рисунок 4.6).

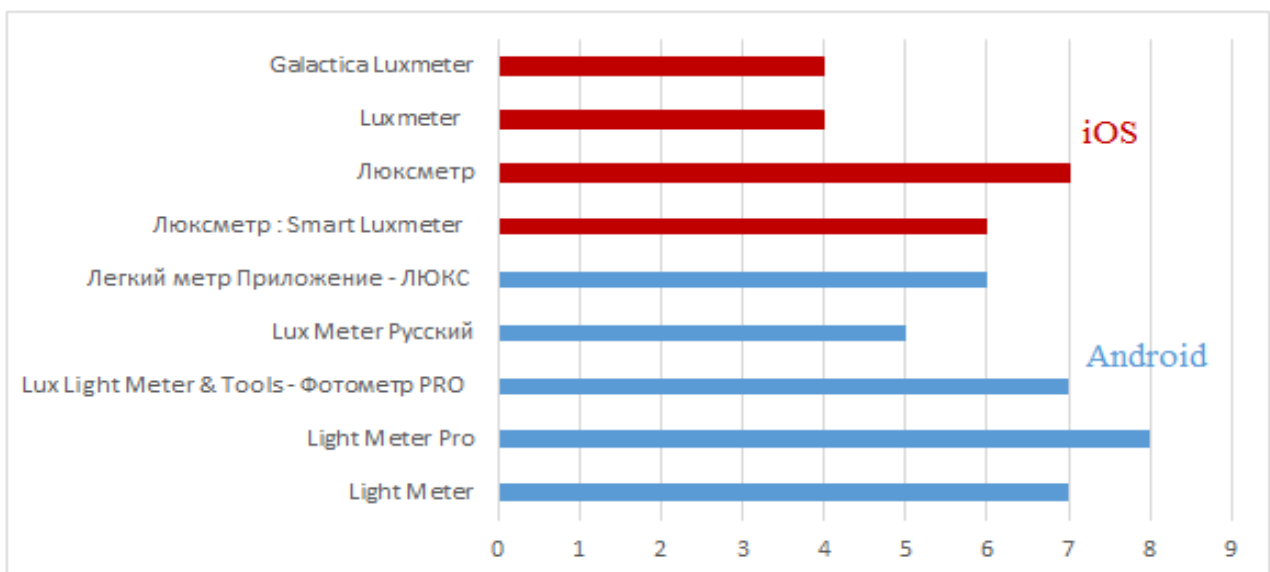
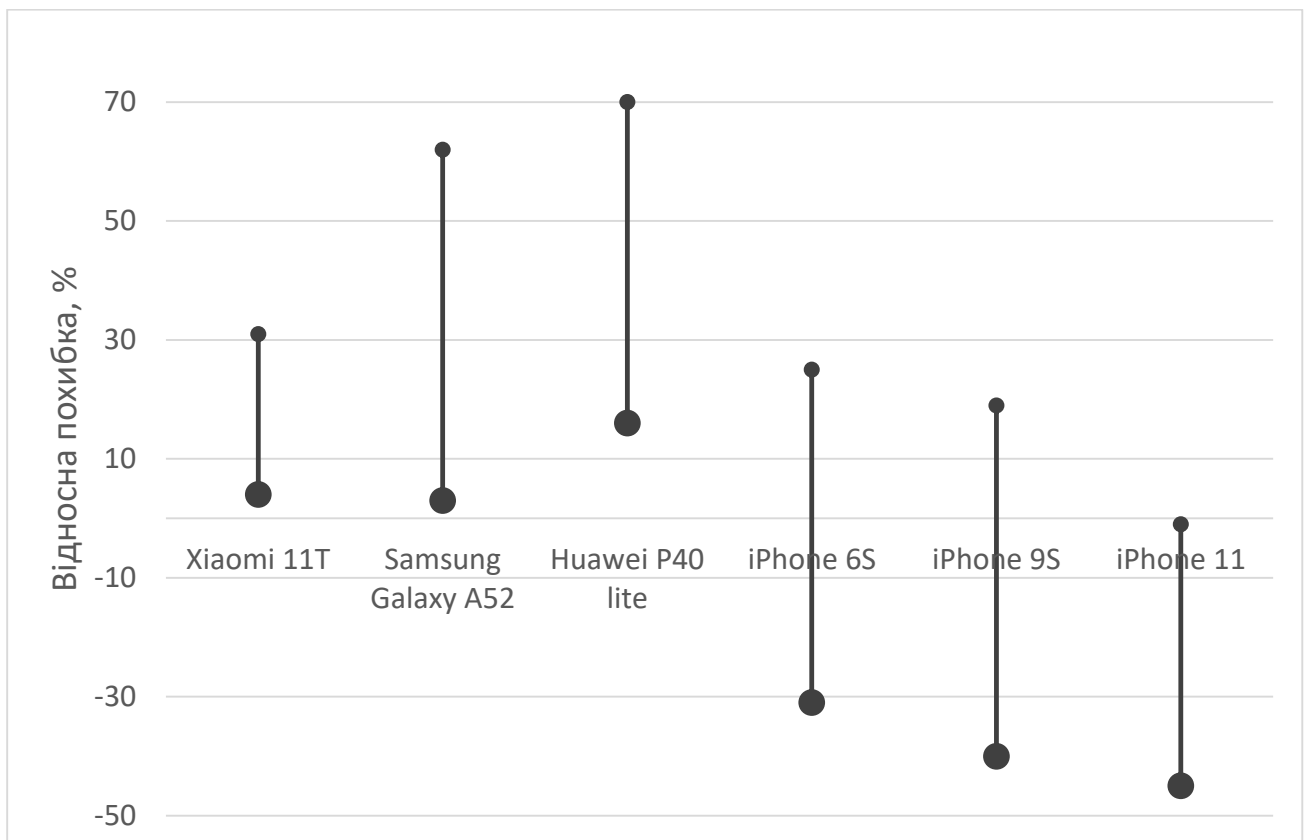


Рисунок 4.6 – Сумарний критерій оцінювання мобільних додатків для вимірювання освітленості

4.3 Смартфони

На рисунку 4.5 показано, що незалежно від операційної системи телефони мають різні рівні точності при вимірюванні освітленості ($p < 0,001$). Найкращі результати середніх відносних відмінностей були зареєстровані для телефонів на базі Android: Xiaomi 11T (відносна похибка складала від 4 % до 31%), Samsung Galaxy A52 (від 3 % до 38 %). Все ще вони далекі від точності. Звертаючись до платформи iOS, моделі iPhone 6S і 9S відображали значення освітленості на мінус 31 % і мінус 40 % відповідно, нижче, ніж у люксметра, тоді як показники моделі 11S були нижчі від 1 % до 45 %. Але слід відзначити, що найбільші відхилення від справжнього значення відмічене при найнижчому освітленні 100 лк, при більших значеннях відхилення значено менше (рисунк 4.7).



Рисунк 4.7 – Розподіл даних відносної різниці між виміряними та контрольними значеннями за допомогою смартфона

Інший цікавий результат показує, що під час використання однієї і тієї ж комбінації телефон/програма на різних рівнях освітлення значення, що відображаються програмою, відрізняються від контрольного значення. Як приклад на платформі iOS, для комбінації додатків iPhone 6 /Galactica середні значення відхилення становили 1,6 %, 7 %, 14 %, 10,7 % і 28 % для попередньо визначених значень освітленості 100 лк, 300 лк, 500 лк, 750 лк і 1000 лк відповідно. Це те саме явище спостерігалось, коли одна й та сама комбінація телефон/програма вимірювала рівні освітленості для різних значень ККТ. На прикладі операційної системи Android, коли телефон Samsung використовує програму Light Meter, середня відносна різниця між показанням програми та контрольним рівнем коливалася від 12 %, при 2700 К, до мінус 7,1 %, при 4000 К і до 24 % при 6500 К.

Ці останні результати означають, що комбінація апаратного та програмного забезпечення не дає стабільної реакції на зміни освітленості або джерела світла, які мають різний колір. Слід виділити дві основні причини такої поведінки комбінації смартфон/програма:

Вбудовані в смартфони датчики світла та камери не оцінюють падаюче випромінювання відповідно до кривої чутливості людського ока при денному світлі, як це роблять спеціальні люксметри;

Кут падіння не враховується за допомогою зважування падаючого випромінювання.

У рамках сфери безпеки життєдіяльності візуальний комфорт і продуктивність, безпека та здоров'я залежать від належного рівня освітленості. Тому використання комбінацій смартфон/програма для вимірювання може загрожувати здоров'ю та безпеці працівників при не вірному використанні.

Під час нашого тесту ми з'ясували, що хоча в деяких програмах можна було зробити калібрування до певного значення, визначити його точно було досить складно. Таким чином, або крок був великим, або значення 100 лк взагалі не встановлювалося (наприклад, максимальне значення, яке вдалося встановити на

iPhone 6 з LightMeter – 34 лк). Часто відхилення від контрольних значень виявлялися дуже високими (до мінус 45 % для iPhone 11 з додатком «Galactica»). При використанні стандарту 100 лк екран смартфона показував 45 лк. Найнижче відхилення в 1 % також було відмічене також для iPhone 11 з «Galactica». При 1000 лк цей смартфон показував 990 лк, при 500 лк додаток смартфона показував 495 лк. У той же час, ми не можемо стверджувати, що саме ця комбінація завжди призводитиме до найменших можливих відхилень. У разі використання значення 100 лк і цієї програми, відхилення смартфон показував 55...75 лк.

Також ми помітили, що значення, що відображаються на пристроях із Android значно вище еталонних, в той час, як на iPhone істотно нижче. Відхилення у всіх програмах на Android-смартфонах були до 60 % вище контрольних.

Ми також помітили, що різні програми, встановлені на смартфонах від Samsung, показували близькі значення. Швидше за все, у цих пристроях для вимірювання освітленості використовується датчик яскравості, а не камера.

У деяких моделях Samsung можна перейти до режиму інженерного меню за допомогою комбінації *#0*#. Вибравши пункт «Датчик світла», ви можете дізнатися про освітленість без встановлення програми. Тож у цьому випадку спеціальна програма може й не знадобитися. Проте, показники цих пристроях також відхилилися від еталонного значення межах від 37 % до 70 %.

Ми вважаємо, що причиною таких коливань є відмінність комплектуючих у телефонах. Такі відхилення користувач не помічає під час повсякденного використання, але при безпосередньому тестуванні вони помітні.

Ми припустили на початку нашого дослідження, що при користуванні смартфоном з одним і тим самим додатком, можна досить точно робити вимірювання, знаючи відсоткове відхилення від еталонного значення. Але наші вимірювання дану теорію не підтверджують.

Результати доводять, що серйозні вимірювання освітленості можливі лише за допомогою професійного обладнання. Воно оснащено відкаліброваним

датчиком, який гарантує, що оцінка освітленості буде проведена відповідно до чутливості людського ока при денному світлі. Крім того, прилади дозволяють виміряти кількість світла в залежності від кута падіння променів. Смартфони не можуть зробити ні того, ні іншого, інакше вони не зможуть виконувати свої функції як телефон.

Розробники програм не стверджують, що смартфони можуть замінити професійні прилади. Твердження, що деякі пристрої дозволяють провести калібрування звучить ефектно, але, на жаль, технічно майже неможливо встановити потрібне значення. Навіть при використанні одного й того ж програмного забезпечення на ідентичних смартфонах результати оцінки відрізняються.

Тому, на жаль, програми насправді не надто допомагають, навіть у тому, щоб отримати загальне уявлення про освітленість. Більш того, результат може бути кардинально протилежним і ввести користувача в оману.

Тому, якщо дійсно необхідне виміряти освітленість, найкраще все ж використати люксметр.

4.4 Вимірювання освітленості за допомогою люксметрів

Заміна ламп на джерела створені на основі світловипромінювальних діодів (СД) може дозволити знизити енергоспоживання на загальне освітлення більш ніж на 50 %. Одним з основних завдань оцінки правильності експлуатації джерела освітлення є вимірювання створюваної ним освітленості. Ця величина строго нормуються рядом технічних нормативних правових актів [5] і підлягає обов'язковому контролю. Разом з тим, всі типи люксметрів, що застосовуються, обов'язково повіряються за стандартним джерелом класу А (широкий спектр сучасних світильників, що включають енергозберігаючі, люмінесцентні, а також світлодіодні лампи відносяться до найвищих класів «А» та «В»). Але лампи розжарювання та люмінесцентні світильники мають відносний спектральний розподіл потужності випромінювання, який значно відрізняється від спектрального розподілу світлодіодів (СД). Теоретичні дослідження

закордонних вчених [12-15] вказують на те, що внаслідок цього похибка вимірювання освітленості повинна значно зростати. Метою даного дослідження є перевірка даного твердження.

Оскільки основний обсяг вимірювань освітленості проводиться на робочих місцях, а не в спеціалізованих лабораторіях, для випробовування нами були обрані найбільш поширені в країні типи люксометрів: аналоговий Ю-116, Lux WINTACT WT81B MTV, VENETECH GM1030C MTV (Китай) та фотометр-яркомір ТЕС 0693 (Україна). В експериментах також використовувалися люксометр Testo 545 (Німеччина), цифровий LX1010В, як еталонний приймач, оскільки прилад повірений та має відповідні документи [12]. У якості об'єкту досліджень використовувалися джерела випромінювання створені на основі світлодіодів білого світіння [13-14].

Спочатку, з метою визначення похибки люксометрів, що випробовувалися, вимірювалася освітленість, створювана люмінесцентними світильниками (клас А) [15]. Для цього використовувалася компактна люмінесцентна лампа (CCFL – Cold Cathode Fluorescent Lamp) (рисунок 4.8). Результати вимірювань наведено у таблиці 4.5.



- а) компактна люмінесцентна лампа Iskra Спіраль 24W 2700K E27
 б) світлодіодна лампа LB-712 А60 12Вт 2700К E27, Feron
 в) LED-лампа ЕВРОСВЕТ 4Вт 4200К С-4-4200-14 E14

Рисунок 4.8 – Люмінесцентна та світлодіодні лампи, що використані для вимірювання освітленості

Таблиця 4.5 – Результати вимірювання освітленості з використанням люмінесцентної лампи

Прилад	Середнє вимірюване значення освітленості, лк	Абсолютна похибка вимірювання освітленості, лк	Відносна похибка вимірювання освітленості, %	Відносна похибка приладу, нормована виробником, %
Ю-116	137,7	мінус 5,8	4	8
Lux WINTACT WT81B MTV	139,9	мінус 3,6	2,5	8
BENETECH GM1030C MTV	144,8	1,3	0,9	6
Testo 545 № 576	151,1	7,6	5,3	8
TEC 0693	139	мінус 4,5	3,1	5, клас А; 10, клас Б
LX1010B	143,5	мінус 2	1,4	± 3 %, до 10000 люкс та ± 5 %, більше 10000 люкс

Далі лампа заміщала на LED-лампу [16, 20] (по черзі б та в (рисунок 4.6)) і вимірювання проводилися аналогічно. Результати вимірювань наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Відносна похибка вимірювання випробуваними приладами для LED лампи

Тип и номер приладу	Відносна похибка вимірювання освітленості (при рівні 55 лк), %	Відносна похибка вимірювання освітленості (при рівні освітлюваності 250 лк), %
Використана лампа	LED-лампа ЕВРОСВЕТ 4Вт 4200К С-4-4200-14 Е14	Світлодіодна лампа LB-712 А60 12Вт 2700К Е27, Feron, %
Ю-116	13	6,6
Lux WINTACT WT81B MTV	11,6	6,2
BENETECH GM1030C MTV	11,0	5,5
Testo 545 № 576	2,9	1,1
TEC 0693	8,8	10,9
LX1010B	3,2	1,5

Порівняння результатів усіх випробувань згруповано на рисунок 4.9.

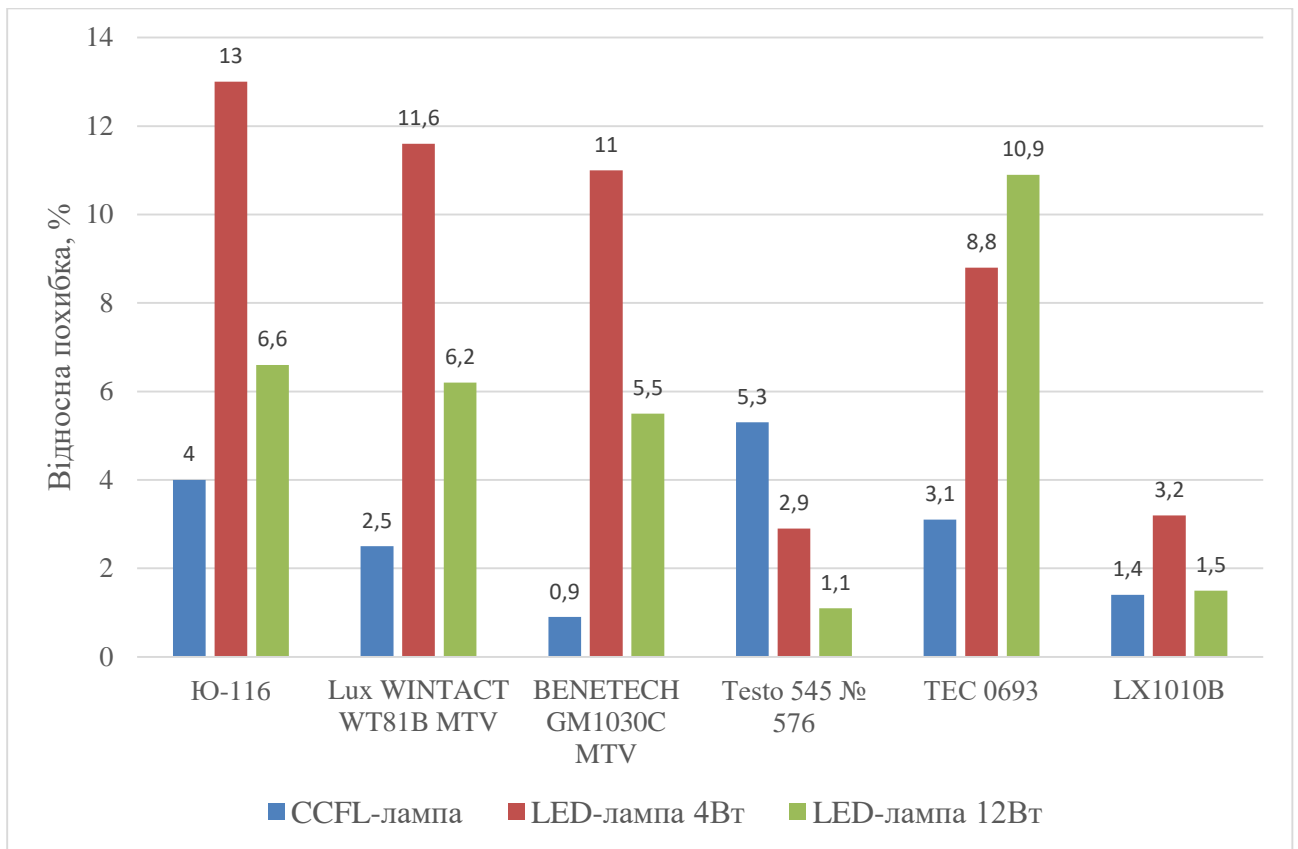


Рисунок 4.9 – Відносна похибка вимірювання освітленості

Як можна побачити на діаграмі (рисунок 4.7) найменша похибка вимірювання відмічалась для дослідження освітленості від люмінесцентної лампи. При використанні LED ламп відносна похибка значно більше для багатьох приладів. При чому слід відмітити, що при використанні менш потужної лампи (55 лк) похибка у всіх вимірювальних приладів максимальна. При використанні LED-лампи та освітленні у 250 лк відносна похибка також вище, але не перевищує нормовані виробником відхилення.

Слід також зазначити, що повірений прилад також виробник рекомендує для подібних вимірювань. У характеристиках приладу вказано, що він має бути використаний саме для вимірювання освітлення від LED-ламп та світлодіодних джерел світла.

Таким чином, з отриманих результатів видно, що при переході від освітлення люмінесцентною лампою до світлодіодних джерел похибка вимірювання освітленості зростає, проте не набагато перевищує значення, нормовані для даного приладу виробником. Тоді як теоретичні розрахунки вказують на те, що «похибка вимірювання може зрости на порядок величини» [17-19]. Оскільки подібних результатів недостатньо освітлено у науковій літературі, дослідження варто продовжувати.

В умовах появи сучасних об'єктів дослідження (світлодіодів), параметри яких стоять окремо від усіх джерел світла, що існували до них, гостро постала необхідність розробки методик вимірювання їх параметрів, тому що класичні варіанти використання традиційних засобів вимірювань застосовні лише в загальних випадках, і, як показали розрахунки [17-19] і практичні вимірювання, не мають необхідну достовірність. Необхідні інші підходи до цих вимірювань, такі ж нові, не схожі на інші, як самі джерела — світлодіоди.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки у дипломній роботі мова про освітлення робочого місця, яке є надзвичайно важливим завданням служби охорони праці та фактором, що впливає на продуктивність праці, роботоздатність та стан здоров'я працівників [21], наведемо розрахунок природної та штучної освітленості для лабораторії охорони праці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

На рівень освітлення лабораторії при врахуванні природного освітлення впливатимуть такі чинники: світловий клімат, площа і орієнтація світлових отворів, ступінь прозорості скла у світлових отворах, фарбування стін і стелі приміщення; глибина приміщення, наявність предметів, що затуляють вікно як зсередини так і зовні приміщення.

Природне освітлення можна характеризувати як таке, що змінюється у широких межах. Це залежить від пори року та метеорологічних чинників. Тому надати характеристику природному освітленню у вигляді абсолютних значень не має сенсу.

Нормування природного освітлення робочого місця виконується із допомогою *коефіцієнта природної освітленості* КПО (%), який представляє собою відношення природної освітленості у заданій площині всередині виробничого приміщення E_v до одночасного вимірювання освітленості E_n зовні будівлі при відкритому небосхилі:

$$\text{КПО} = \frac{E_v}{E_n} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Нормоване значення КПО (e_N), для будівель, розташованих в різних районах, слід визначати за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35 \quad (5.2)$$

де e_H – значення КПО за таблицею 5.1;

m – коефіцієнт світлового клімату за таблицею 5.22;

Отримані за формулою (5.1) значення слід округлити до десятих часток.

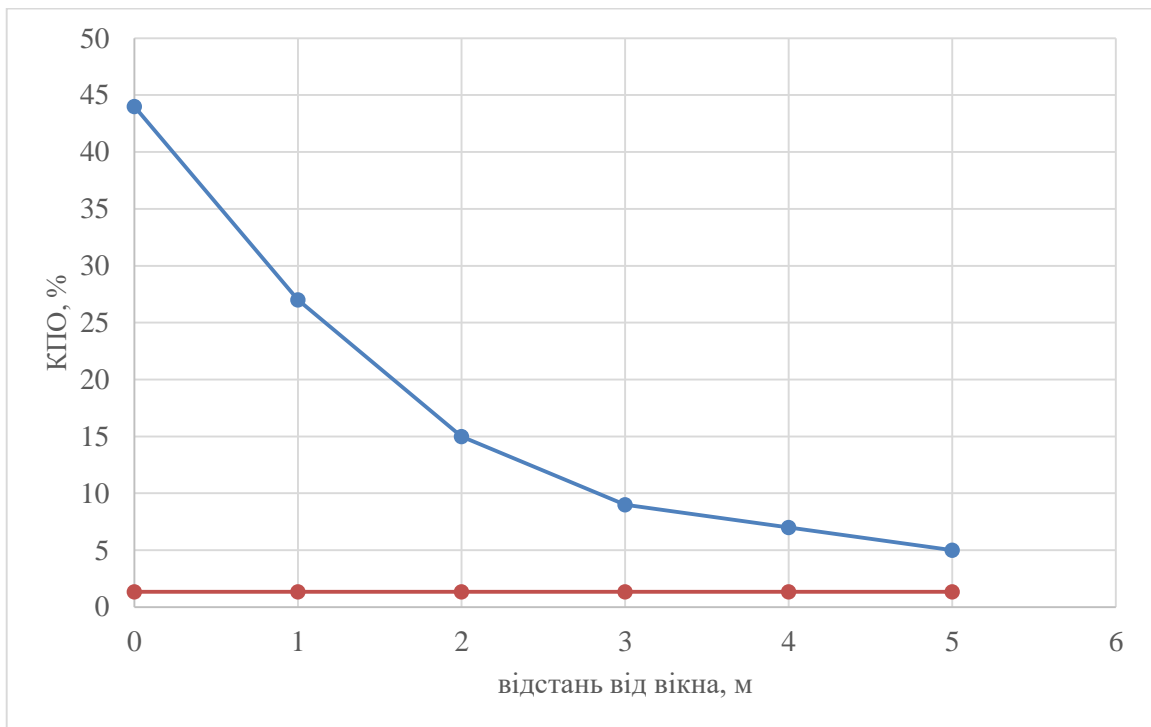


Рисунок 5.1 – Залежність КПО від відстані від вікна

Розрахунок природного освітлення при боковому освітленні зводиться до визначення необхідної сумарної площі вікон, m^2 :

$$S_0 = \frac{S_n \cdot e_N K_3 \eta_o}{100 \tau_o r_1} K_{30} \quad (5.3)$$

де S_n – площа приміщення, m^2 ;

e_N – нормоване значення КПО;

K_3 – коефіцієнт запасу, приймається від 1,3 до 2,0 (залежить від кількості чисток скла на рік; при найменшій кількості чисток рекомендується вибирати найбільший коефіцієнт);

$K_{зд}$ – коефіцієнт, що враховує затемнення вікон сусідніми будівлями (від 1,0 до 1,7);

η_0 – світлова характеристика вікон (таблиця 5.3);

τ_0 – загальний коефіцієнт світло пропускання:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 \quad (5.4)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу (по таблиця 5.4);

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі (таблиця 5.4);

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла від несучих конструкціях (при бічному освітленні $\tau_3=1$; при верхньому – τ_3 вибирають від 0,8 до 0,9;

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла від сонцезахисних пристроїв (таблиця 5.4);

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями, приймається рівним 0,9;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при бічному освітленні завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення;

Значення коефіцієнта r_1 визначають за таблицею 5.5 у залежності від параметрів приміщення.

Виконаємо розрахунок необхідної площі вікон:

$$S_0 = \frac{S_{\text{п}} \cdot e_N K_3 \eta_0}{100 \tau_0 r_1} K_{зд} = \frac{55 \cdot 1,35 \cdot 1,3 \cdot 8,5}{100 \cdot 1,85 \cdot 0,5} \cdot 1,35 = 11,8 \text{ м}^2$$

Реальна площа вікон у лабораторії охорони праці становить:

$$1,75 \cdot 2,25 \cdot 3 = 11,81 \text{ м}^2$$

Тобто площа вікон точно відповідає рекомендованій розрахованій площі.

Таблиця 5.1 – Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень (ДБН В. 2.5-28)

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Штучне освітлення	Штучне освітлення
				Освітлення, Лк	КПО, %
				Загальне освітлення	Бічне освітлення
Середньої точності	0,5-1	IV	а	300	1,5
			б	200	
			в	200	
			г	150	
Малої точності	1-5	V	а	200	1,0
			б	150	
			в	150	
			г	100	
Груба	Більше 5	VI	–	150	0,5

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнта світлового клімату
(ДБН В. 2.5-28 Природне і штучне освітлення)

Світлові отвори	Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту	Коефіцієнт світлового клімату, <i>m</i>	
		Автономна республіка Крим, Одеська обл.	Решта території України
У зовнішніх стінах будівлі	Пн	0,85	0,90
	ПнС, ПнЗ	0,85	0,90
	З, С	0,80	0,85
	ПдС, ПдЗ	0,80	0,85
	Пд	0,75	0,85
Примітка: Пн - північ; ПнС - північний схід; ПнЗ - північний захід; С - схід; З - захід; Пд - південь; ПдС - південний схід; ПдЗ - південний захід			

Таблиця 5.3 – Світлова характеристика вікна η_0 при бічному освітленні

Відносини довжини приміщення до його глибини	Відношення глибини приміщень до підвищення верхнього краю вікна над горизонтальній робочій площині							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 і більше	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—

Таблиця 5.4 – Значення коефіцієнтів τ_1 , τ_2 , τ_4

Вид світло-пропускаючого матеріалу	Значення τ_1	Вид віконної рами	Значення τ_2	Сонцезахисні пристосування	Значення τ_4
Скло віконне листове:		Віконні рами для промисловий будівель		Регульовані жалюзі і штори	1
одинарне	0,9				
подвійне	0,8				
потрійне	0,75	а) дерев'яні:		Стационарні жалюзі та екрани із захисним кутом не більше 45 °:	
Скло листове:		одинарні	0,75		
армоване	0,6	спарені	0,7		
з малюнками	0,65	подвійні окремі	0,6		
сонцезахисне	0,65	б) металеві:		- горизонтальні	0,65
контрастне	0,75	одинарні		- вертикальні	0,75
оргскло:		(відкриваються)	0,75	горизонтальні козирки:	
прозоре	0,9	одинарні (глухі)	0,9		
молочне	0,6	подвійні		- із захисним кутом не більше 30°	0,8
Пустотілі скляні блоки:					
світлорозсіюючі	0,5	відкриваються		- із захисним кутом від 15 до 45°	0,6-0,9
прозорі	0,55				
склопакети	0,8				

Таблиця 5.5 – Значення коефіцієнта r_l

відносини глибини приміщення (В) до висоти від рівня умовної робочої поверхні до h_1 верха вікна B/h	відносини відстані розрахункової точки l від зовнішньої стіни до глибини приміщення В l/B	Значення r при бічному освітленні								
		Середній коефіцієнт відображення $\rho_{ср}$ стелі, стін, підлоги								
		0,5			0,4			0,3		
		Відношення довжини приміщення L до його глибини В								
		0,5	1	$2i >$	0,5	1	$2i >$	0,5	1	$2i >$
Від 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1
	1,0	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2
більше 1,5 до 2,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1
	0,7	2,25	2	1,7	1,7	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2
	1,0	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5
більше 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5
1,0	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7	
більше 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2	1,8	1,5
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2	1,7
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1
	1,0	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	3,5	3	2,5

Примітка: В - глибина приміщення; h - висота від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю вікна; l - відстань розрахункової точки (точка, яка знаходиться на відстані 1 м від стіни, розташованої навпроти стіни з вікнами) до зовнішньої стіни.

Далі розрахуємо штучне освітлення. Використаємо метод світлового потоку для підготовки проекту. Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею за виразом:

$$H_p = H - h_p - 0,5 = 4 - 0,9 - 0,5 = 2,7 \text{ м} \quad (5.5)$$

де H - висота приміщення, м;

h_p - висота розташування робочої поверхні від рівня підлоги, м.

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{ab}{H_p(a+b)} = \frac{5 \cdot 11}{2,7(5+11)} = 0,37 \quad (5.6)$$

де a і b - довжина і ширина лабораторії, м;

H_p - висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею, м.

Визначаємо розрахунковий світловий потік Ерл лампи за формулою:

$$F_{\text{рл}} = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 55 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{15 \cdot 2 \cdot 0,31} = 3903 \text{ лм} \quad (5.7)$$

де S – площа освітлюваного приміщення, м²;

E_n – нормована освітленість на робочому місці у залежності від умов роботи – точності, розміру об'єкта і фону;

z – коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітленості (приймають від 1,1 до 1,3);

k – коефіцієнт запасу зниження освітленості у зв'язку зі старінням ламп і забрудненням світильників (приймають для ламп розжарювання – від 1,3 до 1,6; для люмінесцентних ламп – від 1,5 до 1,8);

N – число світильників, n – число ламп в світильнику.

Вибирають необхідне число світильників для забезпечення рівномірного

освітлення.

За розрахунковим світловому потоку лампи за допомогою таблиці 5.6 підбирають найближчу стандартну лампу.

Лампу підбирають так, щоб виконувалася умова: $0,9 F_{рл} < F_{л} < 1,2 F_{рл}$. У практиці допускається відхилення світлового потоку $B_{л}$ обраної лампи від розрахункового $F_{рл}$ до мінус 10 % и 20 %. В іншому випадку вибирають інше розташування світильників, змінивши їх кількість підбирають інші лампи.

Таблиця 5.6 – Характеристики стандартних ламп розжарювання і люмінесцентних ламп

лампи розжарювання			Люмінесцентні лампи		
тип	Світловий потік, $P_{л}$ лм	Світлова віддача, лм/Вт	тип лампи	світловий потік, $P_{л}$ лм	світлова віддача, лм/Вт
В-15	105	7	ЛДС-20	820	41
В-25	220	8,8	ЛД-20	920	46
Г-40	400	10	ЛБ-20	1180	59
ГК-40	460	11,5	ЛДС-30	1450	48,2
Г-60	715	11,9	ЛД-30	1640	54,5
ВК-100	1145	14,5	ЛБ-30	2100	70,5
Г-150	2000	13,3	ЛДС-40	2100	52,5
Г-200	2800	14	ЛД-40	2340	58,5
Г-300	4600	15,4	ЛБ-40	3000	75
Г-500	8300	16,6	ЛДС-80	3560	44,5
Г-750	13100	17,5	ЛД-80	4070	50,8
Г-1000	18600	18,6	ЛД-80	5220	65,3

Рекомендується вибрати світильники ЛД-80 зі світловим потоком 4070 лк. При цьому освітленість E на робочому місці становить:

$$E = E_{н} \frac{F_{л}}{F_{рл}} = 400 \frac{4070}{3903} = 417 \text{ лк} \quad (5.8)$$

де $F_{л}$ – світловий потік обраної (по таблиці 5.6) лампи, лм

де $F_{рл}$ – розрахунковий світловий потік лампи (за формулою 5.7), лм

При використанні приладів для вимірювання освітлення слід дотримуватися заходів безпеки. Необхідно уважно прочитати інструкцію та інформацію з техніки безпеки, перш ніж приступити до експлуатації. Користувач повинен виконувати викладені у інструкції вказівки, щоб гарантувати безпечну експлуатацію та отримувати оптимальні характеристики. Не слід використовувати люксометр у навколишньому середовищі, яке має високу запиленість або містить газів і горючі пари.

Перед початковим використанням слід перевірити, чи нормально працює люксометр, чи немає пошкоджень, отриманих при зберіганні та транспортуванні. У разі виявлення пошкоджень обов'язково необхідно звернутися до виробника.

Розміщення приладу:

Діапазон температури та вологості для роботи	від мінус 10 °C до 50 °C від 14°F до 122 °F; < 80 % (без конденсації)
Діапазон температури та вологості для зберігання	від мінус 10 °C до 50 °C від 14 °F до 122 °F; 70 % (без конденсації)

Для того, щоб уникнути несправності приладу, не можна піддавати його наступним умовам навколишнього середовища (рисунок 5.2):

 <p>надходження прямих солячних променів та високої температури</p>	 <p>агресивні та вибухонебезпечні гази</p>
 <p>волога, туман, конденсація</p>	 <p>інтенсивні ЕМ випромінювання</p>
 <p>пил</p>	 <p>механічна вібрація</p>

Рисунок 5.2 – Умови використання люкметрів

ВИСНОВКИ

На підставі проведеного наукового дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Зроблено оцінку необхідності освітлення як складового елементу культури безпеки. Створення раціональних умов праці, у тому числі і за фактором освітленості робочих місць, виробничого обладнання та приміщень, допомагає мінімізувати небезпеку отримання травм, суттєво знизити ризик виникнення та розвитку професійних захворювань та, зрештою, підвищити ефективність діяльності працівників та продуктивність їхньої праці. Раціонально сплановане освітлення – один із показників культури безпеки.

Розвинена культура безпеки впливає на показники виробничого травматизму, але при поширенні найкращих практик міжнародних організацій необхідно враховувати і національні особливості, які значно впливають на ефективність їх впровадження.

Сучасний світ неможливо уявити без цифрових технологій, які впроваджуються в усі сфери діяльності, в тому числі допомагають вирішувати питання безпеки праці. Автоматизація складних процесів може вирішуватися за допомогою ІТ-технологій, що забезпечують постійний контроль, всебічний аналіз інформації і вірне прийняття рішень.

2. З'ясована можливість використання смартфонів для вирішення питань безпеки життєдіяльності, у першу чергу для визначення необхідного рівня освітленості.

Включення додатків для визначення рівня освітленості в смартфони вважалося життєздатним інструментом для швидкого, дешевого, зручного та універсального вимірювання освітленості. На жаль, було знайдено лише одне дослідження щодо точності та корисності цих програм для мобільних телефонів [11]. Порівняно з ним, наше дослідження включає в себе різні телефони та додатки, які охоплюють понад 400 тестів. П'ять попередньо визначених рівнів освітленості були створені за допомогою 3-х різних джерел світла ККТ.

Смартфони страждають від обмежень точності оцінки рівня освітленості. Точність додатків для вимірювання освітленості значно відрізнялася від попередньо визначених еталонних рівнів і значень ККТ. Не було певної або передбачуваної моделі нижчих чи вищих показників для мобільних додатків порівняно з люксометром: смартфони відображали вищі показники в одних випадках і нижчі значення в інших. Тому нерозумно використовувати їх для вимірювання рівнів освітленості з метою рішення питань безпеки життєдіяльності, оскільки повідомлення про неправильні значення має серйозні наслідки з точки зору безпеки.

3. Оцінено найпопулярніші доступні мобільні додатки для вимірювання необхідного рівня освітленості.

Запропоновано критерії для вибору необхідного програмного забезпечення. За кожним критерієм додатку присвоєно бал від 1 до 3. За зібраними даними розраховано сумарний критерій оцінювання мобільного додатку, що вміщує оцінку зручності та зрозумілості інтерфейсу програми, можливості калібрування та точності вимірювань.

Це дослідження має кілька обмежень, головним чином через невелику кількість протестованих пристроїв, але інші моделі телефонів та інші мобільні додатки можуть отримати задовільні результати. Крім того, для тестування

розглядалися лише безкоштовні програми, і ми знаємо, що деякі платні версії можуть працювати по-різному.

4. З отриманих результатів визначення відносної похибки при використанні 5 різних люксометрів для вимірювання освітленості від різних джерел світла видно, що при переході від освітлення люмінесцентною лампою до світлодіодних джерел похибка вимірювання освітленості зростає, проте не набагато перевищує значення, нормовані для даного приладу виробником. Тоді як теоретичні розрахунки вказують на те, що «похибка вимірювання може зрости на порядок величини». Оскільки подібних результатів недостатньо освітлено у науковій літературі, дослідження варто продовжувати.

В умовах появи сучасних об'єктів дослідження (світлодіодів), параметри яких стоять окремо від усіх джерел світла, що існували до них, гостро постала необхідність розробки методик вимірювання їх параметрів, тому що класичні варіанти використання традиційних засобів вимірювань застосовні лише в загальних випадках, і, як показали розрахунки і практичні вимірювання, не мають необхідну достовірність. Необхідні інші підходи до цих вимірювань, такі ж нові, не схожі на інші, як самі джерела – світлодіоди.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крайнюк О. В., Репяк Д.В. Розумні технології у охороні праці: нові тенденції //Актуальні проблеми та перспективи розвитку охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту: мат-ли V Всеукр. наук.- практ. конф. Одеса: ОДАБА, 2023. С. 19-21.
2. Крайнюк О.В., Подригало В.Ф., Репяк Д.В. Розумні технології у охороні праці:нові тенденції та креативні ідеї // Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України: Матеріали ІХ Всеукр. заоч. наук.-практ. конф., 28 квітня 2023 року, м. Київ: УДУ імені Михайла Драгоманова, 2023.- С. 80-82.
3. Подригало В., Репяк Д. Крайнюк О. Цифровізація у сфері виробничої безпеки: основні аспекти питання // Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад'юнктів (аспірантів). – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. – С. 283-285.
4. Крайнюк О.В. , Богатов О.І. Охорона праці : навч. посібник / О.В. Крайнюк, О.І. Богатов. – Харків : ХНАДУ, 2022. – 264 с.
5. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення.
6. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT).
7. ISO/CIE 8995-3:2018 Lighting of work places—part 1: indoor.- URL: <https://www.iso.org/standard/28857.html>.
8. ISO/ CIE 19476:2018 Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters.- URL: <https://www.iso.org/standard/83342.html>
9. Ibekwe T.S., David F.O., Dahilo E.A., Gbuje I.O., Nwegbu M.M., Nwaorgu O.G.: Evaluation of mobile smartphones app as a screening tool for environmental noise monitoring. J. Occup. Environ. Hyg., 2016, 13, D31-D36.

10. McGlothlin J., Burgess-Limerick R., Lynas D.: An iOS application for evaluating whole-body vibration within a workplace risk management process. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 2015, D137-D142.
11. Goldschmidt J.: Luxmeter App versus measuring device: are smartphones suitable for measuring illuminance, 2016.- URL: <https://www.dialux.com/en-GB/news-detail/luxmeter-app-versus-measuring-device-are-smartphones-suitable-for-measuring-illuminance>.
12. ДСТУ 7267:2012 Метрологія. Люкметри фотоелектричні. Методика повірки (калібрування).
13. Зенкіна С. М. Удосконалення метрологічного забезпечення визначення штучної освітленості приміщень // Наукові розробки молоді на сучасному етапі. Київський національний університет технологій та дизайну, 2017.
14. Неєжмаков П.І., Купко О.Д., Терещенко В.В. Сучасний стан метрологічного забезпечення світлових вимірювань в Україні. *Український метрологічний журнал/Ukrainian Metrological Journal*, 2017, 3: 17-23.
15. ДСТУ Б В.2.2-6-97 (ГОСТ 24940-96) Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості.
16. Купко О.Д., Терещенко В.В. Аналіз можливостей застосування світлодіодів у метрологічному забезпеченні світлових вимірювань // *Український метрологічний журнал*. 2015. № 4. С. 22–28.
17. Tabaka, Przemyslaw; WTORKIEWICZ, Justyna. Analysis of the Spectral Sensitivity of Luxmeters and Light Sensors of Smartphones in Terms of Their Influence on the Results of Illuminance Measurements—Example Cases. *Energies*, 2022, 15.16: 5847..
18. Zailan, Roziah, et al. Lighting Audit for Energy Conservation and Safety and Health in the Academic Office Building. *Construction Technologies and Architecture*, 2023, 4: 161-169.
19. Schlangen, Luc JM; PRICE, Luke LA. The lighting environment, its metrology, and non-visual responses. *Frontiers in Neurology*, 2021, 12: 624861.

20. Ohno, Yoshi. Optical metrology for LEDs and solid state lighting. In: Fifth symposium optics in industry. SPIE, 2006. p. 508-515.

21. Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці
Постанова КМУ від 1.09.1992 № 442.

Додаток А

Ілюстративний матеріал до дипломної роботи