

УДК 621.321

DOI:10.30857/2617-0272.2024.1.13.

ТРЕТЯКОВА Л. Д., МІТЮК Л. О., КАЧИНСЬКА Н. Ф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

«РОЗУМНІ» ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЄКТУВАННІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мета: проаналізувати традиційні елементи електротехнічних систем штучного освітлення приміщень різного призначення, обґрунтувати енергетичну та економічну доцільність нових підходів до проектування та запропонувати алгоритми проектування освітлювальної системи на підставі впровадження «розумних» технологій, енергозберігаючих електротехнічних приладів та електричних мереж з дотримання нормативних вимог щодо якості електроенергії та рівня освітленості.

Методологія. Використано методи аналізу та порівняння переваг та вад світлодіодних джерел освітлення. Під час аналізу використано основні положення світлотехніки, оптичні та світлотехнічні характеристики джерел світла і випромінювання у матеріальному середовищі та методи світлотехнічних розрахунків.

Результати. У статті сформульовано базові принципи проектування чи модернізації сучасної внутрішньої системи штучного освітлення на базі концепції «Smart home», яка передбачає автоматичне керування енергозберігаючими інженерними системами освітлення всередині та поза приміщеннями будь-якого призначення. Проаналізовано наявні «розумні» технології в системах внутрішнього освітлення, впровадження яких дає можливість вирішити поставлені завдання – забезпечити сумісність нормативних вимог, світлотехнічних характеристик, електротехнічних параметрів, фінансових та ергономічних показників. За результатами порівняння світлових, електротехнічних і фінансових характеристик джерел освітлення зроблено висновок щодо доцільності використання світлодіодних джерел світла.

Наукова новизна. Розроблено алгоритм проектування освітлювальної системи на підставі впровадження «розумних» технологій, енергозберігаючих електротехнічних приладів та електричних мереж з дотримання нормативних вимог щодо якості електроенергії та рівня освітленості.

Практична значущість. Запропоновано під час вибору проекту чи модернізації системи освітлення орієнтуватися на коефіцієнт ефективності, який об'єднує основні світлотехнічні та фінансові показники.

Ключові слова: енергозбереження, джерело світла, світлотехнічні характеристики, електричні мережи, дизайн освітлення.

Вступ. Стрімкий розвиток «розумних» технологій передбачає використання новітніх джерел освітлення, які можна регулювати впродовж дня за інтенсивністю та кольором світла, забезпечуючи зниження рівня електроспоживання та підвищення рівня працездатності через синхронізацію робочого графіку та природних ритмів в організмі людини. Події осені 2022 та зими 2023 років під час обмеженого постачання електроенергії показали, що освітлення є важливим елементом сучасного життя, суттєво впливає на основні потреби людей:

візуальний комфорт, який підвищує відчуття благополуччя та спокою; візуальну працездатність, що дає можливість забезпечити функціонування організацій цілодобово; безпеку, зменшуючи ризики травматизму та виникнення аварій у житлових, адміністративних і виробничих будівлях.

Водночас важливо розуміти, що штучне освітлення – велике джерело електроспоживання та матеріальних витрат. Вважається, що в розвинутих країнах від 10 % до 20 % електроенергії споживають

системи зовнішнього та внутрішнього освітлення [1]. Використання освітлювальних приладів здебільшого припадає на години максимального навантаження в енергосистемі, що є додатковим ускладнюючим чинником щодо проходження пікових навантажень у вечірні часи і створює потреби у додаткових підключеннях теплових електростанцій, робота яких продукує до 30 % загального виділення CO₂ [32]. Міжурядовий експертний комітет зі змін клімату дійшов висновку, що енергоекономічність освітлення є одним із заходів, який забезпечує найдешевші варіанти зменшення викидів діоксиду вуглецю (CO₂). Найефективнішим способом зниження споживання електроенергії в системах освітлення є заміна ламп розжарювання (ЛР) і малоефективних ртутних ламп високого тиску (РЛВТ) на енергозберігаючі лампи, до яких відносяться компактні люмінесцентні (КЛЛ) та світлодіодні (LED) лампи [11].

Аналіз попередніх досліджень. Тема проектування та модернізації систем штучного освітлення виробничих і житлових приміщень вельми популярна, натомість у джерельну базу дослідження вибрано актуальні релевантні публікації та монографії. Основним напрямом досліджень є методи проектування, які забезпечують порядок зі світлотехнічними нормами енергозбереження, економічність та ергономічність систем освітлення. Питання розвитку і удосконалення методів проектування присвячено роботи Солов'я А. І., Марковича М. Й [14; 10], в яких розглянуто загальні тенденції формування світлового образу приміщень і навколишнього середовища. Економічність джерел світла визначається ефективністю використання енергії задля отримання світлового потоку, а в довгостроковій перспективі – тривалим життєвим циклом [17]. Проблемам оцінки біологічної дії світла присвячені роботи Іоффе К. І.,

Чередніченко І. М. [19]. Встановлено, що рівень освітленості та яскравості впливає на вироблення гормону метанолу в крові: більша яскравість лампи посилює стан активності, і відповідно низький рівень яскравості призводить до стану розслаблення та сну. Встановлено, що залежно від параметрів освітлення і його спектрального складу може змінюватися самопочуття, працездатність людини, концентрація уваги, активність, продуктивність розумової та фізичної праці. Питання розробки та вдосконалення сучасних джерел освітлення розглянуто у статтях [32; 30], в яких висвітлено проблеми екологічного впливу та запропоновано процедури оцінки терміну служби за показником зменшення світлового потоку.

Автори [28] наголошують на важливому елементі проектування – світлодизайні, зосереджуючись на особливостях розміщення та оздоблення приміщень світловими приладами та «розумними» технологіями їх регулювання. Питання побудови ефективних електротехнічних систем внутрішнього освітлення розглянуті в статі [31], де запропоновано системи автоматизованого управління освітленням.

Проблема модернізації систем виробничого та житлового секторів є невирішеною, оскільки освітлювальні системи здебільшого не відповідають сучасним тенденціям [12]. Це спричинено низкою чинників, з яких найпоширенішими є: недоліки у розробці проєктної документації; відсутність режиму енергозбереження через використання застарілих джерел світла; невідповідність розміщення світильників світлотехнічним вимогам; відсутність заходів з періодичної функціональної підтримки. Така ситуація свідчить, що проектування систем освітлення потребує подальшого розвитку, вдосконалення та популяризації.

Постановка завдання.
Проаналізувати традиційні елементи

електротехнічних систем штучного освітлення приміщень різного призначення, обґрунтувати енергетичну та економічну доцільність нових підходів до проектування та запропонувати алгоритми проектування освітлювальної системи на підставі впровадження «розумних» технологій, енергозберігаючих електротехнічних приладів та електричних мереж з дотримання нормативних вимог щодо якості електроенергії та рівня освітленості.

Результати та обговорення дослідження. В останні роки важливою частиною політики Європейського Союзу (ЄС) в галузі енергетики є комплекс заходів, які об'єднані назвою Energy Transition (енергетичний перехід) [4]. Energy Transition – це перехід провідних країн до розвитку економіки через впровадження відновлювальної енергетики, підвищення енергоефективності, де кінцевою метою є обмеження зайвого виробництва та споживання електроенергії завдяки енергозберігаючим заходам, зростанню енергоефективності, інтелектуалізації електричних систем [23]. Одним з ефективних кроків у цьому напрямі є проектування та реалізація положень Smart home (розумний будинок) [30]. Smart home – це система автоматичного керування енергозберігаючими інженерними системами і всередині, і поза приміщеннями будь-якого призначення (житлові, адміністративні, виробничі тощо).

Нині питання енергозбереження пов'язують з проблемами потепління клімату та зменшенням викидів діоксиду вуглецю. Один із заходів – відмови від використання ЛР і РЛВТ. Згідно з прийнятою постановою [27] з 1 січня 2013 року країни ЄС повністю відмовилися від виробництва та реалізації ЛР. Інші країни світу також поступово відмовляються від таких джерел світла. В Ізраїлі і Китаї поетапна відмова від ЛР і РЛНТ реалізується з 2016 року. У США, Канаді, Австралії, країнах Південної та Північної Америки розроблено програми

поступового переходу на енергозберігаючі джерела освітлення.

Прийняття в ЄС документів стосовно енергозбереження [24; 28] має безпосередній вплив на перегляд та уточнення пріоритетів у сучасній енергетичній політиці України. На часі питання енергозбереження, що зумовлено вартістю видобутку енергоресурсів та їх дефіцитом, глобальними проблемами екології та безпеки на державному рівні [18].

З метою оцінювання, нормування, контролю, систем штучного освітлення розроблено комплекс світлотехнічних показників [21]. Умовно такі показники поділяють на:

– основні: світловий потік, коефіцієнтом світлової ефективності, освітленість, сила світла, яскравість, індекс відблисків;

– функціональні: термін служби джерела світла; стабільність світлового потоку; кількість циклів вмикання до відмови; час запалювання лампи; час розгоряння лампи до 60 відсотків світлового потоку; рівень передчасних відмов; коефіцієнт потужності ламп з вмонтованим пускорегульованим апаратом (ПРА);

– допоміжні: коефіцієнти відбиття, пропускання та поглинання, фон, колір світла, контраст між об'єктом і фоном, видимість, розмір об'єкта розрізнення;

– світлодизайну: оптимальна освітленість, коефіцієнт передачі кольору, колірна температура, розподіл яскравості світла та тінеутворення.

Наведемо визначення для основних характеристик джерел світла. *Світловий потік* показує скільки світла випромінюється джерелом. Можна стверджувати, що вищий у лампи світловий потік, то яскравіше вона буде світити. *Яскравість поверхні* – це єдина фотометрична величина, яка сприймається оком (враження яскравості). Око людини спроможне оцінити яскравість джерела світла у діапазоні $(1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^7)$ кд/м².

Наприклад, яскравість люмінесцентних ламп знаходиться в межах $(5 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^5)$ кд/м², лампи розжарювання – $(4 \cdot 10^4 \dots 5,5 \cdot 10^6)$ кд/м². Засліплююча яскравість залежить від розміру поверхні, яка світиться, яскравості сигналу та рівня адаптації зору і знаходиться в діапазоні $(6,4 \cdot 10^2 \dots 15,9 \cdot 10^4)$ кд/м². Для ефективного бачення об'єкту фонова яскравість повинна перебувати у діапазоні $(10 \dots 500)$ кд/м². Освітленість – світловий потік у відношенні до площі. Наприклад, приблизні значення природної освітленості такі: безхмарне небо в літній день – 100 000 лк; вуличне освітлення – $(5 \dots 30)$ лк; повний місяць в ясну ніч – 0,25 лк. Власне показники освітленості нормуються в стандартах для різних приміщень і видів виконуваних робіт [5]. Підтримувана середня освітленість приміщення не повинна бути менше ніж встановлений рівень. Наприклад, кімнати відпочинку повинні мати освітленість від 100 лк, аудиторії та приміщення для виконання дрібних машинних робіт – від 500 лк, приміщення задля контролю матеріалів і кольору в текстильній промисловості – 1000 лк [26].

Smart технології передусім спрямовані на удосконалення основних характеристик джерел світла. Серед основних переваг новітніх типів КЛЛ і LED ламп можна виокремити такі: світлову енергоефективність збільшено у 5...8 разів; термін служби збільшено у 8...20 разів і не залежить від кількості включень; комфортність у використанні досягають під час дистанційного чи сенсорного управління; поверхня лампи не нагрівається під час використання, що дає можливість застосовувати їх в закритих світильниках і світильниках з легкоплавких матеріалів; компактні форми, стандартні цоколі E14 і E27 з вбудованим ПРА дають можливість заміни ЛР без заміни світильника; процес включення відбувається з інерційністю до 0,015 с, що практично не помітно для очей; під час включення не виникають додаткові

пускові струми, що не спричиняє коливань напруги в електричній мережі; відсутність мерехтіння та шуму; підвищена стійкість до вібрації та механічних ударів; високий рівень кольоропередачі (Ra не менш як 82) дає можливість вибору світла різного спектрального складу (теплий, денний, білий холодний). Залежно від спектра можливо підібрати лампи для приміщень різного виробничого призначення [9].

Водночас енергозберігаючі джерела світла мають певні вади: висока ціна; нестабільність світлотехнічних параметрів в часі [30]; відсутній досвід тривалого використання; велика різниця в ціні та якості у різних виробників. КЛЛ містять до 4 мг ртуті, і це потребує впровадження заходів зі зниження концентрації парів ртуті в повітрі приміщення до гранично-допустимого рівня та дотримання певних вимог під час їх утилізації [21]. Дослідження технічних характеристик КЛЛ підтвердило, що в спектрі їхнього випромінювання, окрім видимого, присутні ультрафіолетовий та інфрачервоний діапазони оптичного спектра.

КЛЛ і LED лампи потрібно використовувати у комплекті зі світильниками. *Технічне призначення світильника* – забезпечення надійного та безпечного підключення до електричної мережі, регулювання та направлення світла, обмеження ефекту «засліплення», запобігання забрудненню і механічному пошкодженню лампи та захист від вологості, вибухів і пожеж [19].

«Розумні» технології дають можливість створити якісне світлове середовище завдяки світильникам з дзеркальними рефлекторами та змінюваними кольорними температурами [15]. Світильники з дзеркальними рефлекторами забезпечують максимальне відбиття світлового потоку лампи, утворюють пряме вузько спрямоване освітлення поверхні (до 90 % світлового потоку), підвищують коефіцієнт використання, що дає можливість суттєво

зменшити кількість ламп до освітлення аналогічної за розмірами площі. Стельові світильники з параболоїдними рефлекторами утворюють широко направлене, переважно спрямоване освітлення поверхні (від 60% до 90 % світлового потоку). Підвісні світильники з параболоїдними рефлекторами утворюють переважно відбите освітлення. Світлові промені спрямовані на стелю або стіни, що відбивають світло, концентруючись в окремих зонах приміщення.

Електронна ПРА є новітнім напрямом під час проектування та реалізації положень Smart home. Найдоцільніший варіант – це підключення до єдиної системи керування («multiroom», «multiway») усіх інженерних систем будівлі: освітлення, опалення, водо-, газопостачання, кондиціонування та вентиляції. Керування освітленням – одна з найважливіших функцій Smart home, яка сприяє створенню комфортних умов споживачу та суттєвій економії спожитої електроенергії [3]. Завдяки сучасним моделям регуляторів створюють гнучкі системи управління освітленням у різних приміщеннях чи окремих зонах. Наприклад, можливо освітити приміщення повністю чи тільки окремі чергові зони з відеоспостереженням; плавно відрегулювати потік та яскравість освітлення; вимкнути світло в приміщеннях у неробочі часи. Встановлення датчиків присутності чи руху в окремих зонах передбачає регулювання інтенсивності освітлення залежно від присутності в приміщенні людей. Новітні електронні регулятори є достатньо коштовними приладами, поряд з тим початкові витрати компенсуються через: економію електроенергії до (15...20)%; зменшення витрат на періодичне обслуговування електроапаратури (стартерів, конденсаторів), збільшення до (20...25) % терміну служби ламп завдяки ощадному режиму роботи та пуску.

Суттєвим чинником у підтримці енергоефективності системи освітлення є технічне обслуговування, яке передбачає: періодичне очищення світильників і вікон; заміну ушкоджених ламп; фарбування поверхонь виробничих приміщень та устаткування у світлі кольори задля підвищення коефіцієнта використання природнього та штучного освітлення. Виконані виміри втрат світлового потоку через недбале технічне обслуговування складають: забруднення світильників – до 13,7 %; забруднення стін та стелі – 18,2 %; зменшення світлового потоку через старіння ламп – 23,1 %; неправильний вибір світильників і рефлекторів – 24,8 % [14].

Система штучного (внутрішнього і зовнішнього) освітлення – це сукупність електричної мережі, освітлювальних приладів і засобів їх контролю та регулювання. Будь-який проєкт системи освітлення доцільно розглядати з позицій і вимог стосовно проєкту з енергоефективності, який складається з сукупності скоординованих дій, реалізація яких охоплює обмеження щодо нормативних показників, ресурсів, вартості, енергозбереження, безпеки експлуатації та екології. Усі наведені чинники потрібно враховувати під час проектування чи модернізації системи освітлення.

Сучасні тенденції побудови системи освітлення зумовлюють чотири базові положення [22]:

1. Функціональність. Відповідність нормативним вимогам, покращення умови праці та безпеки в приміщенні, обладнання автоматичними засобами управління;
2. Енергозбереження. Зменшення споживання електричної енергії та втрат в електричних приладах і мережах;
3. Економічність. Зниження витрат на електричні мережі, прилади та обслуговування, зростання терміну використання;
4. Ергономічність. Правильний вибір світлорозподілення основних і допоміжних

освітлювальних приладів і конструктивного виконання світильників, що створює максимально можливий рівень комфорту та зручності;

Проект освітлювальної системи містить чотири частини: світлотехнічну, електричну, фінансову, конструктивну.

Світлотехнічна частина проекту. Системи освітлення забезпечує захист очей користувачів від перенавантаження, дає можливість виконувати професійні обов'язки без додаткових ризиків. Виходячи з таких передумов, встановлено три основні вимоги щодо систем штучного освітлення [25]:

–комфортність до зорової праці. Забезпечення високого рівня працездатності та гарного самопочуття під час виконання виробничих завдань;

–освітленість та яскравість. Можливість виконання складних зорових завдань упродовж тривалого часу, без мерехтіння та відблисків;

–безпека та надійність. Надійність і безпечність у використанні, придатність до регулювання. Потрібно додатково проєктувати аварійне освітлення, яке дає можливість вчасно помітити небезпеку чи знаки, які попереджають про неї, а також створює умови для безпечної евакуації у разі аварійних ситуацій.

Доцільно в проєкті штучного освітлення об'єднати три групи: загальне, зональне (місцеве) та чергове (евакуаційне). Загальне освітлення є базовим складником будь-якої системи освітлення приміщення, в якому інші групи розглядають як додаткові. Загальне освітлення забезпечує рівномірність на всьому просторі приміщення, тривалий періоду роботи, відсутність різких тіней. Потрібно уникати і глибоких тіней, і їх відсутність. Відсутність тіней ускладнює просторовий зір і призводить до стомлення очей. Мінімальний рівень середньої освітленості загального освітлення у виробничих приміщення встановлено на рівні 200 лк.

Зональне освітлення забезпечують місцеві світильники на робочих місцях, які розділяють простір приміщення на окремі зони. Місцеве освітлення є обов'язковою групою задля робочих місць, які вимагають підвищеного рівня освітленості: швачки та розкroювальника; лікаря-стоматолога; комп'ютеризованого робочого місця та інших. Доцільно встановлювати місцеве освітлення з міркування економії електроенергії [22]. Системи загального та зонального освітлення дають можливість створити бажане спрямування світлового потоку на відповідні поверхні та запобігти тіням, які падають від близько розташованих предметів або людей.

Чергове освітлення призначено до використання в неробочий час зі зменшеним рівнем освітленості (до 30 % від загального). Під час проєктування доцільно об'єднати чергове освітлення з іншими функціональними групами: евакуаційним, резервним та охороним. Відповідно до діючих нормативів, передбачено підключення цих груп та загального робочого освітлення до різних розподільчих електричних ліній і джерел живлення, оскільки потрібно забезпечити робочий процес, евакуацію та охорону у разі відмови загальної системи електропостачання чи пожежі.

Прагнення до комплексного вирішення завдань під час проєктування системи освітлення натрапляє на складнощі узгодження великої кількості вимог, деякі з яких мають суперечливий характер. У проєктуванні потрібно дотримуватися вимог, норм і правил, які наведено в державних стандартах [6, 2], враховувати рекомендації надані у Міжнародних стандартах, і впроваджувати практичні надбання провідних виробників електричних освітлювальних виробів.

Електротехнічна частина проекту. Освітлювальна електрична мережа повинна задовольняти вимогам щодо забезпечення надійності та показників якості напруги,

серед яких: рівні відхилення та коливання напруги не повинні перевищувати встановлених меж [7]. Виконання таких вимог забезпечує стабільний режим освітлювальних приладів: зниження напруги призводить до зменшення світлового потоку та відповідно рівня освітленості робочого місця; збільшення напруги спричиняє додаткові втрати енергії, зростання яскравості та відблисків. Переріз провідників окремих освітлювальних мереж вибирають за умови: напруга на лампах не повинна зменшуватися менш як 95 % номінальної напруги (209 В) і не перевищувати 105 % (231 В).

Переріз провідників освітлювальної мережі розраховують за формулою:

$$F = \frac{\sum(L_i \cdot S_i)}{C \cdot \Delta U}, \quad (1)$$

де F – переріз проводу; L_i , S_i – довжина та повна потужність i -тої ділянки освітлювальної мережі; C – постійний коефіцієнт, який залежить від номінальної напруги та матеріалу провідника, у трифазній мережі 380/220 В $C = 77$ у разі використання мідного проводу і $C = 46$ – для алюмінієвого проводу; ΔU – допустима втрата напруги, $\Delta U = 5\%$.

Остаточні перерізи визначають за найближчим більшим значенням у довідковій таблиці. Вибрану мережу потрібно перевіряти за допустимим струмом нагрівання та рівнем коливань напруги. В електротехнічній частині вибирають засоби до включення, перемикачів та регулювання освітлювальних приладів.

Фінансова частина проєкту.

Фінансову оцінку проєкту з енергоефективності здійснюють [8] упродовж усього «життєвого циклу» – від початку інвестування в проєкт до утилізації обладнання. Аналіз виконують з розподілом життєвого циклу проєкту на щорічні етапи, в межах яких відбувається моделювання грошових потоків, які складаються із заощаджених та витрачених коштів, і

розраховують термін окупності. Під час фінансової оцінки доцільно експертно враховувати також і неенергетичні ефекти (покращення умов праці, підвищення комфортності, зручності, безпеки тощо).

Проєкт з модернізації системи освітлення зазвичай передбачає заміну джерел світла, регулюючих пристроїв світильників (у разі потреби) без заміни наявної електричної мережі. Модернізацію системи освітлення потрібно виконувати за таких умов: вартість щорічної спожитої електроенергії перевищує вартість заміни ламп; світловий потік ламп у ході використання стає менш як 75 % від первісного значення.

Алгоритм проєктування передбачає виконання комплексу завдань: розрахунок параметрів і конфігурації внутрішньої мережі та джерел живлення для робочого та групи чергового освітлення; варіативні розрахунки світлотехнічних параметрів під час використання різних джерел світла та світильників: вибір засобів керування, умов і способів монтажу; визначення термінів обслуговування та можливості приєднання до зовнішньої наявної електричної мережі; фінансова оцінка проєкту. Як приклад, розглянемо проєкт освітлювальної мережі офісного приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями.

Вихідні данні. Приміщення довжиною 10 метрів, шириною 7 метрів, висота стелі – 4 м, покриття стін – світле, 10 комп'ютеризованих робочих місць. Визначити кількість ламп для освітлення приміщення та робочих місць. У приміщенні планується встановити відповідно до вимог [5] загальне, зональне робоче та чергове (евакуаційне) освітлення. Нормований рівень освітленості становить 500 лк., чергове освітлення – 120 лк.

Загальне освітлення (ЗГ) розміщується на стелі, що забезпечує високу інтенсивність та рівномірність освітлення в приміщенні. Зональне освітлення (ЗО) розглядається як додаткове та розміщується біля кожного

робочого місця, чергове (ЧО) (евакуаційне) освітлення використовують в неробочий час задля безпеки, у разі надзвичайної події.

Світлотехнічний розрахунок виконуємо за методом світлового потоку [13]. Цей метод застосовують задля орієнтовного розрахунку кількості та потужності освітлювальних приладів під час рівномірного розміщення світильників над горизонтальною площиною, за відсутності великих затінених проміжків або предметів. У розрахунку враховано прямий та віддзеркалений (від стелі, стін та підлоги) потік світла. Розглянемо три варіанти побудови системи освітлення з різними лампами: ЛР; КЛЛ; LED.

Потрібну кількість джерел світла загального освітлення визначають за формулою:

$$N = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{\Phi_l \cdot \theta \cdot \gamma} \quad (2)$$

де E_n – нормована освітленість, лк; K_z – коефіцієнт запасу; S – площа, яку потрібно освітлювати, m^2 ; Z – коефіцієнт, який характеризує нерівномірність освітлення; Φ_l – світловий потік лампи; θ – коефіцієнт використання світлового потоку; γ – коефіцієнт затінення.

Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Доцільність впровадження проекту з енергоефективності з'ясовується за оцінкою капітальних витрат і витрат на енергоресурси. У прикладі враховано капітальні витрати, які складаються з вартості лам, світильників, регуляторів та електричної освітлювальної мережі і експлуатаційні щорічні витрати за споживану електроенергію (табл.2).

Таблиця 1

Результати світлотехнічного розрахунку

Тип лампи	Світловий потік лампи, лм	Кількість ламп, шт			Потужність, Вт	Число годин використання за рік, год	Споживана енергія за рік, кВт·год
		ЗГ	ЗО	ЧВ			
ЛР	1 200	123	20	33	17 600	910	15 950
КЛЛ	1 350	104	20	34	3 364	910	3 058
LED	2 500	57	10	25	1 950	910	1 763

Таблиця 2

Зведена таблиця показників фінансової оцінки проекту

Тип лампи	Термін служби, год	Вартість складників системи освітлення				Період окупності, місяць
		Ламп, грн	Електро-обладнання, грн	Загальні інвестиції, грн	Спожита річна електроенергія, грн	
ЛР	1 200	3 520	20 700	24 220	57 420	
КЛЛ	8 000	16 900	16 750	33 650	11 010	8,7
LED	20 000	10 880	8 850	29 730	6 350	7,1

Вочевидь, що за існуючих тенденцій вартість електроенергії буде постійно зростати, адже важливо знати співвідношення між первісними

інвестиціями та експлуатаційними витратами (рис. 1).

Розподіл загальних щорічних витрат між трьома розглянутими варіантами

наведено на рис. 2. формат книжкового знака.



Рис. 1. Структура розподілу щорічних витрат за варіантами: 1 – вартість ламп; 2 – вартість електрообладнання; 3 – вартість спожитої електроенергії за рік.

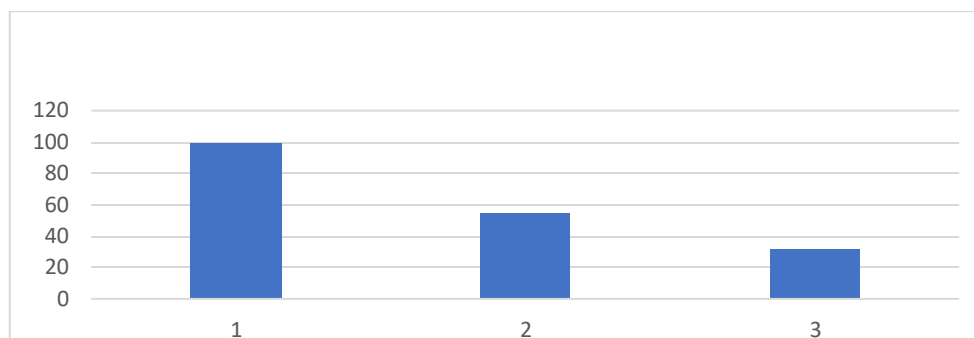


Рис. 2. Співвідношення річних експлуатаційних витрат у проєктах, %:
1 – проєкт з ЛР; 2 – КЛЛ; 3 – LED.

Загальна ефективність освітлення визначається вимогами щодо енергозбереження та нормативними показниками освітленості. Натомість потрібно заохочувати споживачів до впровадження «розумних» технологій, маючи на увазі, що споживча ефективність залежить від співвідношення між вартістю електротехнічного обладнання та вартістю щорічної споживаної електроенергії.

Автори запропонували новий критерій вибору проєкту – коефіцієнт ефективності, який поєднує фінансові та світлотехнічні показники, і розраховується за формулою:

$$K_{\text{еф}} = \frac{I + W \cdot C}{\Phi \cdot T}, \quad (3)$$

де $K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності, грн/(лм год); I – початкові інвестиції в систему освітлення, грн; W – річні витрати електроенергії, квт·год; C – щорічна вартість електроенергії, грн/(квт·год); Φ – світловий

потік лампи, лм; T – термін служби лампи, год.

Критерій прийняття проєкту. У разі, якщо обчислений коефіцієнт ефективності виявляється меншим серед усіх розглянутих варіантів, такий проєкт вважається прийнятним: що менше коефіцієнт ефективності, то кращий варіант вкладання інвестицій. За трьома варіантами наведеного прикладу коефіцієнти ефективності становили: $K_{\text{еф}}^{(1)} = 0,031$ грн/(лм·год);

$K_{\text{еф}}^{(2)} = 0,0023$ грн/(лм·год); $K_{\text{еф}}^{(3)} = 0,00031$ грн/(лм год). Варіант проектування освітлювальної мережі з використанням LED-ламп за критерієм терміну окупності та коефіцієнтом ефективності є найкращим.

Беручи до уваги наведені в статті вимоги до системи освітлення, яка містить велику кількість функціональних груп світильників і схем їх вмикання, процес

проєктування суттєво ускладняється. Вочевидь за таких умов застосування сучасних комп'ютерних програм є доречним.

Висновки. У статті сформульовано базові принципи проєктування та модернізації сучасної системи штучного освітлення з використанням «розумних» технологій: функціональність, енергозбереження, економічність та ергономічність. Проаналізовано наявні «розумні» технології в системах внутрішнього освітлення, впровадження яких дає можливість вирішити поставлені завдання – забезпечення сумісності нормативних вимог, світлотехнічних характеристик, електротехнічних параметрів, фінансових та ергономічних показників. Доведено, що основним способом реалізації поставлених завдань є використання «розумних» технологій у проєктуванні з інтелектуалізацією електричних мереж. Заміна застарілих джерел освітлення (ламп розжарювання,

галогенних, люмінесцентних високого тиску) на компактні люмінесцентні і LED-лампи відповідає новітнім тенденціям у проєктуванні. Ефективність освітлювальної системи підвищується під час використання регулюючих пристроїв, які дають змогу знизити рівень споживання і втрат електроенергії, підвищити світлову віддачу джерел світла у разі регулювання світлового потоку, спектральних характеристик і колірної температури, реалізувати дистанційне керування. Запропоновано під час вибору проєкту чи модернізації системи освітлення орієнтуватися на коефіцієнт ефективності, який об'єднує основні світлотехнічні і фінансові показники.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток методів проєктування технічних систем освітлення в поєднанні з положеннями світлодизайну, як засобу досягнення зорового комфорту і послаблення стресової напруги користувачів та покращення ергономічності оточуючого просторового середовища.

Література:

1. Богдан І. В., Пилипенко Ю. М. Використання енергозберігаючих світлодіодних випромінювачів в системах освітлення. *Технології та дизайн*. 2018. № 2 (27). С. 1–7.
2. Вимоги до світлодіодних світлотехнічних пристроїв та електричних ламп, що використовуються в мережах змінного струму з метою освітлення. Додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2012 р. № 992.
3. Волосова Т. А. Технологія «розумний дім»: майбутнє вже поруч. Маркетинг і контролінг: сучасні виклики підприємництва: зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, Івано-Франківськ, 30 листопада 2017 р. С. 144–146. URL: <http://futuolog.com.ua/publish/7/Zbirnyk.pdf> (дата звернення: 09.02.2024).
4. Денисюк С.П. Енергетичний перехід – вимоги до якісних змін у розвитку енергетики. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 1. С. 7–28.

5. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. [Чинний від 28.02.2019]. Вид. офіц. Київ, 2018. 133 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проєктування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. [Чинний від 01.10.2010]. Вид. офіц. Київ, 2010. 169 с.
7. ДСТУ ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. [Чинний від 01.01.2000]. URL: <https://budinfo.org.ua/doc/1809913/GOST-13109-97-Normi-iyakosti-elektrichnoi-energii-v-sistemakh-elektropostachannia-zagalnogo-priznachennia> (дата звернення: 18.01.2024).
8. Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. Відокремлений підрозділ. Київ: ДП «НЕК»Укренерго, 2017. 213 с. URL: <https://docplayer.net/84214294-Dosvid-krayin-ievrosyuzu-z-pidvishchennya-energoefektivnosti->

[energoauditu-ta-energomenedzhmentu-z-energooshchadnosti-v-ekonomici-krayin.html](https://doi.org/10.31866/2617-7951.2.2018.15466) (дата звернення: 23.12.2023).

9. Кожушко Г.М., Басова Ю.А, Сорокін В.М., Рибалочка А.В. Дослідження параметрів і характеристик компактних люмінесцентних та світлодіодних ламп для прямої заміни ламп розжарювання. *Світлолюкс*. 2013. № 1. С. 30–36.

10. Маркович М.Й. Переваги світлодіодної технології в галузі освітлення. *Наукові записки. Серія: Мистецтвознавство*. 2014. №2. С. 208–212.

11. Мітяєв Д.М., Друбецька Т.І. Дослідження методів освітленості та розробка рекомендацій по їх покращенню. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2023. № 1. С. 109–116.

12. Коефіцієнт використання світлового потоку. URL: <https://studfile.net/preview/6272770/page/5/> (дата звернення: 07.02.2024).

13. Пилипчук Р., Щиренко В. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи. Праці II міжнародної науково-технічної конференції, Тернопіль: ТДТУ, 2005. С. 65–76.

14. Соловей О.І., Чернявський А.В., Ситник О.О., Ткаченко В.Ф., Курбака Г.В. Електричне освітлення. Черкаси : ФОРМ Гордієнко Є.І., 2018. 134 с.

15. Сорокін В.М., Рибалочка А.В., Кожушко Г.М., Басова Ю.А. Економічна та екологічна оцінка перспектив використання енергоекономічних ламп у житловому секторі. *Світлолюкс*. 2013. № 3. С. 16-21.

16. Суворова К.І., Гуракова Л.Д. Сучасні системи освітлення як ресурс енергозбереження. *Комунальне господарство міст*. 2018. 7 (146). С. 12–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_7_22. (дата звернення: 09.12.2023).

17. Танкевич С.Є., Білінов І.В., Кириленко В.В. Україна та світ: нормативне забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем за концепцією Smart Grid. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2014. № 4 (89). С. 38–44.

18. Технічний регламент щодо вимог до екодизайну для ламп спрямованого випромінювання, світлодіодних ламп і пов'язаного з ними обладнання. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 27 березня 2019 р. № 264.

19. Чередніченко І.М. Гігієнічна оцінка впливу випромінювання компактних люмінесцентних ламп на організм людини. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2015. 2(43). С. 70–73 .

20. Чирчик С.В. Світлодизайн у контексті сучасної наукової думки. *Деміург: ідеї, технології, перспективи дизайну*. 2018. 2, 18–29. <https://doi.org/10.31866/2617-7951.2.2018.15466>

21. Шпак С., Кожушко Г., Кислиця С., Багіров С. Дискомфортна та засліплювана блискавість світлодіодних ламп та світильників. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. № 1(63). С. 62–66. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.062>

22. Berkin A. National energy strategies of Germany and Turkey. *World Journal of Environmental Research*. 2017. 7(1). P. 40–51.

23. Clean Energy for All Europeans. Communication From the Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee, The Committee of The Regions and The European Investment Bank. Brussels, 30.11.2016 COM (2016). URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF (Last accessed: 16.12.2023).

24. DIN EN 12665:2018-08. Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements. European standard, 2018.

25. DIN EN 12464-1:2021. Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. European standard, 2021.

26. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031> (Last accessed: 05.01.2024).

27. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj> (Last accessed: 13.02.2024).

28. Makaremi N., Schiavoni S., Pisello A. L., Cotana F. Effects of surface reflectance and lighting design strategies on energy consumption and visual comfort. *Indoor and Built Environment*. 2019. 28(4). P. 552–563. <https://doi.org/10.1177/1420326X18793170>.

29. Franz M., Franz P. Wenzl. Critical review on life cycle inventories and environmental

assessments of LED-lamps, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2017. 47:21, P. 2017-2078, <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1370989>.

30. Mendes T.D.P., Godina R., Rodrigues E.M.G., Matias J.C.O., Catalao J.P.S. Smart home communication technologies and applications: wireless protocol assessment for home area network resources. *Energies*. 2015. Vol. 8. P. 7279–7311.

31. Principi P. Fioretti R. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) – a case study. *Journal of Cleaner Production*. 2014. 83. P. 96–107.

32. United Nations Environment Programme. Global status report for buildings and construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. Nairobi: 2021. URL: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf (Last accessed: 13.12.2023).

References:

1. Boghdan, I. V., Pylypenko Ju. M. (2018). Vykorystannja energhozberighajuchykh svitlodiodnykh vyprominjuvachiv v systemakh osviltlenja. *Tekhnologhiji ta dyzajn*. № 2 (27). P. 1–7. [in Ukrainian].

2. Vymogy do svitlodiodnykh svitlotekhnichnykh prystrojiv ta elektrychnykh lamp, shho vykorystovujutjsja v merezhakh zminnogho strumu z metoju osviltlenja. (2012). Dodatok do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15.10.2012, № 992. [in Ukrainian].

3. Volosova, T. A. (2017). Tekhnologhija «rozumnyj dim»: majbutnje vzhe poruch. Marketyngh i kontrolingh: suchasni vyklyky pidpryjemnyctva: zb. materialiv mizhdyscyplinar. nauk.-prakt. konf., Kyjiv, Ivano-Frankivsk, P. 144–146. URL: <http://futuolog.com.ua/publish/7/Zbirnyk.pdf> (Last accessed: 09.02.2024) [in Ukrainian].

4. Denysjuk, S.P. (2019). Energhetychnyj perekhid – vymogy do jakisnykh zmin u rozvytku energetyky. *Energhetyka: ekonomika, tekhnologhiji, ekologhija*. 1. P. 7–28. [in Ukrainian]

5. DBN V.2.5-28:2018. (2018). Pryrodne i shtuchne osviltlenja. Tekhnichni normy. [Chynnyj vid 28.02.2019]. Vyd. ofic. Kyjiv, 2018. 133 p. [in Ukrainian].

6. DBN V.2.5-23:2010. (2010). Inzhenerne obladnannja budynkiv i sporud. Proektuvannja elektroobladnannja ob'ektiv cyvilnogho pryznachennja. [Chynnyj vid 01.10.2010]. Vyd. ofic. Kyjiv, 2010. 169 p. [in Ukrainian].

7. DSTU GhOST 13109-97. (1997). Elektrychna energhija. Sumisnistj tekhnichnykh zasobiv. Normy jakosti elektrychnoji energhiji v systemakh elektropostachannja zaghalnogho pryznachennja. [Chynnyj vid 01.01.2000] URL: <https://budinfo.org.ua/doc/1809913/GOST-13109-97-Normi-iakosti-elektrichnoi-energhiji-v-sistemakh-elektropostachannja-zagalnogo-pryznachennja> (Last accessed: 18.01.2024) [in Ukrainian].

8. Dosvid krajn Jevrosojuzu z pidvyshhennja energhoefektyvnosti, energhoaudytu ta energhomenedzhmentu z energhooshhadnosti v ekonomici krajn. Vidokremenyj pidrozdil. Kyjiv: DP «NEK»Ukrenergho, 2017. 213 p. URL: <https://docplayer.net/84214294-Dosvid-krajn-ievrosoyuzu-z-pidvishchennja-energoefektivnosti-energoaudytu-ta-energomenedzhmentu-z-energooshhadnosti-v-ekonomici-krajn.html> (Last accessed: 23.12.2023) [in Ukrainian].

9. Kozhushko, Gh. M., Basova, Ju.A, Sorokin, V.M., Rybalochka, A.V. (2013). Doslidzhennja parametriv i kharakterystyk kompaktnykh ljuminescentnykh ta svitlodiodnykh lamp dlja prjamoji zaminy lamp rozsharjuvannja. *Svitloljuks*. 1. P. 30–36. [in Ukrainian].

10. Markovych, M. J. (2014). Perevaghy svitlodiodnoji tekhnologhiji v ghaluzi osviltlenja. *Naukovi zapysky. Serija: Mystectvoznavstvo*. 2. P. 208–212. [in Ukrainian].

11. Mitjajev, D. M., Drubecjka, T. I. (2023). Doslidzhennja metodiv osviltlenosti ta rozrobka rekomendacij po jikh pokrashhennju. *Energhetyka: ekonomika, tekhnologhiji, ekologhija*. 1. P. 109–116. [in Ukrainian].

12. Koeficijent vykorystannja svitlovogho potoku. URL: <https://studfile.net/preview/6272770/page:5/> (Last accessed: 07.02.2024) [in Ukrainian].

13. Pylypchuk, R., Shhyrenko, V. (2005). Problema energhozberezhennja v osviltjuvalnykh ustanovkakh. *Svitlotekhnika j elektrotekhnika: istorija, problemy j perspektyvy. Praci II mizhnarodnoji naukovo-tekhnichnoji konferenciji, Ternopilj: TDTU*. P. 65–76. [in Ukrainian].

14. Solovej, O. I., Chernjavskij A. V., Sytnyk O. O., Tkachenko V. F., Kurbaka Gh. V. (2018).

Elektryczne oświetlenia. Cherkasy: FOP Ghordijenko Je.I. 134 p. [in Ukrainian]

15. Sorokin V.M., Rybalochka A.V., Kozhushko Gh. M., Basova Ju. A. (2013). Ekonomichna ta ekologichna ocinka perspektiv vykorystannja energhoekonomichnykh lamp u zhytlovomu sektori. *Svitlojuks*. 3. P. 16–21. [in Ukrainian].

16. Suvorova, K. I., Ghurakova, L. D. (2018). Suchasni systemy osvittlenja jak resurs energhozbezrehennja. *Komunaljne ghospodarstvo mist*. 7 (146). P. 12–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_7_22. (Last accessed: 09.12.2023) [in Ukrainian]

17. Tankevych, S. Je., Blinov, I. V., Kyrylenko, V. V. (2014). Ukrajina ta svit: normatyvne zabezpechennja intelektualnykh elektroenerghetychnykh system za koncepcijeju Smart Grid. *Standartyzacija, sertyfikacija, jakistj*. 4 (89). P. 38–44. [in Ukrainian].

18. Tekhnichnyj rehlyment shhodo vymogh do ekodyzajnu dlja lamp sprjamovanogho vyprominennja, svitlodiodnykh lamp i pov'jazanogho z nymy obladnannja. Zatverdzheno postanovoju Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 bereznja 2019 r. N. 264. [in Ukrainian].

19. Cherednichenko, I. M. (2015). Ghighijenichna ocinka vplyvu vyprominjuvannja kompaktnykh ljuminescentnykh lamp na orghanizm ljudyny. *Ukrajinsjkyj zhurnal z problem medycyny praci*. 2(43). P. 70–73. [in Ukrainian].

20. Chyrchuk, S. V. (2018). Sviltodyzajn u konteksti suchasnoji naukovoji dumky. *Demiurgh: ideji, tekhnologhiji, perspektyvy dyzajnu*. 2, P. 18–29. <https://doi.org/10.31866/2617-7951.2.2018.15466> [in Ukrainian]

21. Shpak S., Kozhushko G., Kyslytsia S., Bagirov S. (2021). Dyskomfortna ta zaslipljuvaljna blyskavistj svitlodiodnykh lamp ta svityljnykiv. *Systemy upravlinnja, navighaciji ta* 63. 62–66. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.062> [in Ukrainian].

22. Berkin, A. (2017). National energy strategies of Germany and Turkey. *World Journal of Environmental Research*. 7(1), 40–51.

23. Clean Energy for All Europeans. (2016). Communication From the Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee, The Committee of the Regions and the European Investment Bank.

Brussels, 30.11.2016 COM URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF (Last accessed: 16.12.2023).

24. DIN EN 12665:2018-08. Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements. European standard, 2018.

25. DIN EN 12464-1:2021. Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. European standard, 2021.

33. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031> (Last accessed: 05.01.2024).

26. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>. (Last accessed: 13.02.2024).

27. Makaremi, N., Schiavoni, S., Pisello, A. L., & Cotana, F. (2019). Effects of surface reflectance and lighting design strategies on energy consumption and visual comfort. *Indoor and Built Environment*, 28(4), 552–563. <https://doi.org/10.1177/1420326X18793170>

28. Franz, M., Franz, P. W. (2017). Critical review on life cycle inventories and environmental assessments of LED-lamps. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47:21, 2017–2078. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1370989>.

29. Mendes, T.D.P., Godina, R., Rodrigues, E.M.G., Matias, J.C.O., Catalao, J.P.S. (2015). Smart home communication technologies and applications: wireless protocol assessment for home area network resources. *Energies*. 8. 7279–7311.

30. Principi, P., Fioretti, R. (2014). A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) – a case study. *Journal of Cleaner Production*. 83, 96–107.

34. United Nations Environment Programmer (2021). Global status report for buildings and construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. Nairobi. URL: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf (Last accessed: 13.12.2023).

TRETIKOVA L. D., MITIUK L. O., KACHYNSKA N. F.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Institute of Energy Saving and Energy Management, Kyiv, Ukraine

SMART TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF ELECTRIC LIGHTING SYSTEMS

Objective: To analyse traditional elements of electrical engineering systems of artificial lighting of premises of various purposes, to substantiate energy and economic feasibility of new approaches to design and to propose algorithms for the design of lighting system based on the introduction of "smart" technologies, energy-saving electrical devices and electrical networks to comply with regulatory requirements.

Methodology. Methods of analysis and comparison of advantages and disadvantages of LED lighting sources were used. The basic provisions of lighting engineering, optical and lighting characteristics of light sources and radiation in the material medium and methods of lighting calculations were used in the analysis.

Results. The article formulates the basic principles of designing or modernizing a modern indoor artificial lighting system based on the Smart home concept, which provides for automatic control of energy-saving engineering lighting systems inside and outside the premises of any purpose. The "smart" technologies in indoor lighting systems are analysed, the introduction of which allows to solve the set tasks – to ensure compatibility of regulatory requirements, lighting characteristics, electrical parameters, financial and ergonomic indicators. According to the results of comparison of light electrical and financial characteristics of lighting sources, the conclusion about the feasibility of using LED light sources was made.

Scientific novelty. An algorithm for designing a lighting system based on the introduction of "smart" technologies, energy-saving electrical devices and electrical networks to meet the regulatory requirements of power quality and illuminance level has been developed.

Practical significance. It is suggested that when choosing a project or modernization of the lighting system to focus on the efficiency factor, which combines the main lighting and financial indicators.

Keywords: energy saving, light source, light technical characteristics, electrical networks, lighting design.

ІНФОРМАЦІЯ
ПРО АВТОРІВ:

Третякова Лариса Дмитрівна, професор, доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці промислової та цивільної безпеки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID 0000-0001-5244-746X, **e-mail:** loratr79@gmail.com

Мітюк Людмила Олексіївна, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці промислової та цивільної безпеки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID 0000 0003 4914 2387, **e-mail:** luda2010703@gmail.com

Качинська Наталія Федорівна, старший викладач, кафедри охорони праці промислової та цивільної безпеки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID 0000-0003-3339-2226, **e-mail:** natalik12345@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Третякова Л. Д., Мітюк Л. О., Качинська Н. Ф. «Розумні» технології у проектуванні систем електричного освітлення. *Art and design*. 2024. №1(25). С. 147–160.

<https://doi.org/10.30857/2617-0272.2024.1.13>

Citation APA: Третякова, Л. Д., Мітюк, Л. О., Качинська, Н. Ф. (2024). «Розумні» технології у проектуванні систем електричного освітлення. *Art and design*. 1(25). 147–160.