

## Розвиток питань енергоефективності у ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»

Володимир Єгорченков<sup>1</sup>, Лідія Коваль<sup>2</sup>, Дмитро Радомцев<sup>3</sup>, Олег Сергійчук<sup>4</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>egval@ukr.net, orcid.org/000-0003-2910-0331

<sup>2</sup>likocolor@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7324-0377

<sup>3</sup>d.radomtsev@archimatika.tech, orcid.org/0000-0002-5358-9897

<sup>4</sup>ovsergeich@i.ua, orcid.org/0000-0003-0226-3923

DOI: 10.32347/2310-0516.2019.12.7-19

**Анотація.** Впровадження більш ефективних, з точки зору енерго- та ресурсозбереження і екології, технологій в практику традиційного проектування і будівництва з метою зниження експлуатаційних витрат, створення комфортного середовища проживання, зниження використання природного палива, підвищення використання альтернативних й поновлювальних джерел енергії, збереження навколишнього природного середовища, і, як наслідок, створення сучасного стійкого середовища, потребує постійного удосконалення проектування систем як природного, так і штучного освітлення.

1 березня 2019 р. набрала чинності нова редакція ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення» [1]. Робота над нормами тривала більше 5 років. У складі авторського колективу – 25 фахівців з 10 організацій.

Необхідність розроблення нової редакції була обумовлена вдосконаленням методики розрахунку природного освітлення, яка прив'язана до кліматичних умов України та появою і широким застосуванням для штучного освітлення приміщень і територій енергоефективних світлодіодних джерел світла.

Відомо, що витрати енергії на штучне освітлення односімейного будинку складають біля 10% від загального енергоспоживання, а у офісних будівлях вони досягають 20%.

Тепловтрати зимою через вікна досягають 22-25% від загальних тепловтрат через теплоізоляційну оболонку будівлі, а літній перегрів приміщень практично повністю обумовлений теплонадходженнями через світлопрозорі огороження, оскільки у ясний день сонячна радіація, що проникає через вікна, дає більше 85% теплонадходжень.

При розробленні нової редакції ДБН був врахований досвід зарубіжних країн та реко-



**Володимир Єгорченков**  
докторант кафедри архітектурних  
конструкцій  
к.т.н., доц.



**Лідія Коваль**  
докторант кафедри  
архітектурних конструкцій  
канд. мистецтвознавства, доц.



**Дмитро Радомцев**  
аспірант кафедри  
архітектурних конструкцій



**Олег Сергійчук**  
професор кафедри  
архітектурних конструкцій  
д.т.н., проф.

мендації Міжнародної комісії з освітлення. У процесі роботи було проаналізовано та частково враховано більше 500 зауважень, що надійшли на проект першої редакції норм.

У даній статі розглядаються основні положення нової редакції норм, які суттєво впливають на енергоефективність проєктованих будівель і споруд та формулюються наступні кроки.

**Ключові слова.** Природне освітлення; штучне освітлення; суміщене освітлення; LED-технології; світлокліматичне районування.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За даними як вітчизняних, так і закордонних дослідників енергоефективність у будівництві значною мірою залежить від правильного вибору систем освітлення приміщень у будівлях, зовнішнього освітлення об'єктів, вулиць та майданів населених пунктів, стадіонів, підземних переходів тощо [2-6].

Природне та штучне освітлення повинне відповідати низці вимог: санітарно-гігієнічним, економічним, естетичним тощо. За останні роки з'явилося нове електрообладнання для штучного освітлення, в якому використовуються нові технології, в першу чергу, світлодіодні лампи з використанням енергозберігаючої LED-технології як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Ці технології використовуються як для внутрішнього та зовнішнього освітлення, так і для реклами. Також в Україні набрали чинності нормативні документи, які вимагають управління та регулювання як природним, так і штучним освітленням будівель з метою підвищення їхньої енергоефективності. Якщо у частині природного освітлення норми [7] зазнавали змін [8], то нормування штучного освітлення суттєво застаріло і не відповідало задачам енергозбереження.

Виникла ситуація, коли проекти, в яких запроваджувались для штучного освітлення LED-технології, системи акумуляційного геліосвітлення, системи освітлення з використанням світловодів, не могли бути реалізовані, оскільки для них не було відповідних норм.

З іншого боку, поява енергоефективних джерел штучного освітлення поставила питання про більш широке використання суміщеного освітлення приміщень, оскільки це дає можливість збільшити їхню глибину, а отже, розширити корпус, що сприяє зменшенню витрат на опалення таких будівель. Однак, при цьому, необхідно враховувати вплив світлодіодного освітлення на здоров'я людей.

Треба також було проаналізувати нормативні значення як штучного, так і природ-

ного освітлення з точки зору узгодження санітарно-гігієнічних вимог з економічними та технічними можливостями.

Тому розроблення нової редакції ДБН В.2.5-28 стало актуальною задачею.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Початок процесу регламентації розмірів вікон був покладений ще в другій половині XIX століття, згідно з яким у Франції, Німеччині і Америці для приміщень різного призначення встановлювалися правила визначення розмірів вікон. В основі цих правил лежало співвідношення площі вікон до площі підлоги приміщення. Фундаментальні геометричні основи розрахунку природного освітлення були закладені М.О Риніні [9].

У 30-х роках минулого сторіччя О.М. Данилюком був розроблений інженерний метод розрахунку коефіцієнта природного освітлення (КПО) [10]. Цей метод до цього часу є основою нормативного розрахунку у більшості пострадянських країн, зокрема в Україні.

У ряді країн Європи діють національні стандарти з розрахунку і проектування природного освітлення [11-12].

Штучне освітлення завжди відіграло визначальну роль у культурному розвитку людства, забезпечивши подовження світлового дня. Вперше замислившись над вимірюванням і принципами нормування штучного освітлення ще у 1900 р., пройшовши період експериментів і створивши у 1913 р. Міжнародну комісію з освітлення (СІЕ) [13, с. 13–23], спеціалісти галузі продовжують постійне удосконалення діючих норм. В умовах глобальної енергетичної і екологічної кризи, поряд з важливістю забезпечення високих, орієнтованих на людину стандартів освітлення, особливо актуальними є питання щодо енергоефективності світла.

На сьогодні, визнаним фактом є те, що з точки зору енергоефективності немає альтернативи світлодіодним освітлювальним системам. А сучасні виробники світлодіодної продукції продовжують удосконалювати і підвищувати не лише кількісні складові

енергоефективності (світлова віддача, світлова ефективність, енергетичний коефіцієнт корисної дії), а і якісні показники (спектр [14, с. 18]) випромінювання світлодіодів.

Проте, європейські країни, які оновили стандарти раніше [15], вже мають перелік визначених проблем, пов'язаних з підвищенням енергоефективності освітлення [16], які доречно враховувати. А сучасні європейські дослідники дизайну освітлення [13, 17-19] констатують достатність нині діючих кількісних норм і заперечують потребу у їх підвищенні, але наголошують на необхідності широкого дослідження з метою подальшого нормування показників якості освітлення, що включають максимальне наближення спектра випромінювання штучних джерел до природного; наявність світлової динаміки, що імітує природну; психологічно і емоційно сприятливий світловий розподіл; виключно цільове, а отже, раціональне використання освітлення.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

При розробленні нормативних вимог до освітлення приміщень різного призначення у новій редакції ДБН В.2.5-28 були проаналізовані як санітарно-гігієнічні вимоги до якісних і кількісних параметрів освітлення, так і технічні та економічні можливості їх досягнення. Запропоновано більш диференційований підхід до рівнів освітлення робочих поверхонь у залежності від умов зорової роботи, знижено показники природ-

ного освітлення при суміщеному освітленні, розроблені деталізовані таблиці з розширеною номенклатурою приміщень у будинках громадського, житлового та комунального призначення.

У розділі «Природне освітлення» запропоновано нове світлокліматичне районування території України. Це пов'язано з використанням у попередній методиці районування [8] припущення, що енергетична освітленість еквівалентна світловій, яке не зовсім відповідає дійсності. Тому нове світлокліматичне районування зроблено вже на основі кількісних характеристик освітленості території України.

Для цього було проведено моделювання спектральної щільності світлового потоку на основі кліматологічних даних середньоденної температури, вологості та загальної хмарності за [20] о 9<sup>00</sup> годині 15.VI та 15.XII для всіх обласних населених пунктів України. Математичне моделювання проведено згідно стандарту [21], реалізованого в програмному комплексі «SMARTS», розробленого Національною лабораторією відновлювальної енергетики (NREL), отримано таблиці з коефіцієнтами спектральної щільності потоку та світлові еквіваленти для переводу енергетичної освітленості в світлову з урахуванням яких, на основі даних енергетичної освітленості по 25 обласним центрам України [20], побудовано поверхню сумарної освітленості та отримано межі 4-х світлокліматичних районів (Рис. 1).

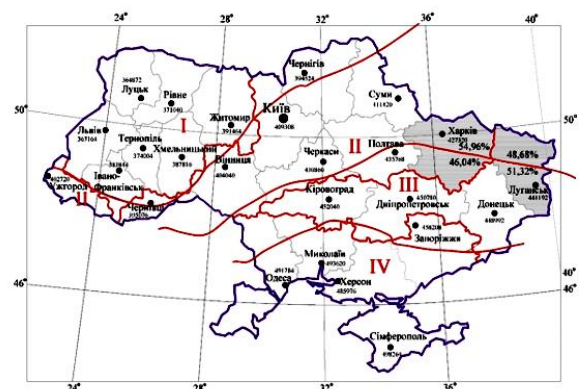
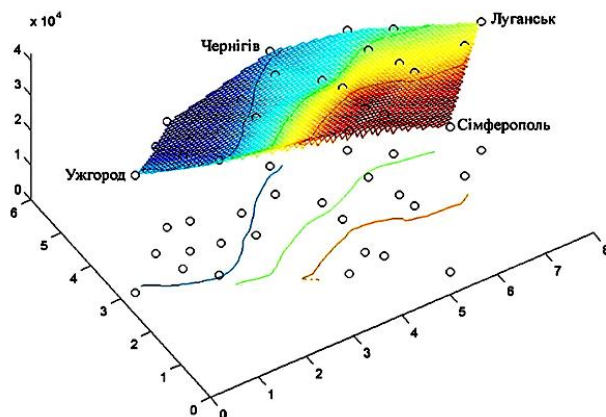


Рис. 1. Світлокліматичне районування території України.

Fig. 1. Light-climatic zoning of the territory of Ukraine.

Особливості кожного району, а також орієнтації світлопрорізів враховуються коефіцієнтом світлового клімату  $m$ , який з нормування перенесено у розрахунок, що дає можливість врахувати не тільки орієнтацію вікна, а і орієнтацію фасадів будівель, що його затінюють. При цьому суттєвого розвитку зазнала методика розрахунку яскравості сусідніх будівель, хоча вона потребує подальшого уточнення за рахунок врахування багаторазового взаємного відбиття світла від фасадів та поверхні землі, але це можна зробити тільки при використанні програмних комплексів.

Розрахунок природного освітлення поки що базується на застосуванні графіків А.М. Данилюка, але передбачається, що він буде суттєво удосконалений в майбутніх стандартах-настановах, які необхідно розробляти в доповнення до норм [22].

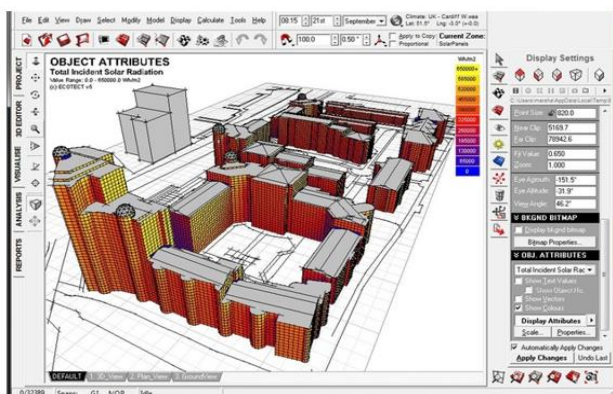
Наразі існує декілька програмних пакетів для проведення комплексного аналізу ефективності будівлі як з позиції освітле-

ності, так з позиції енергоефективності.

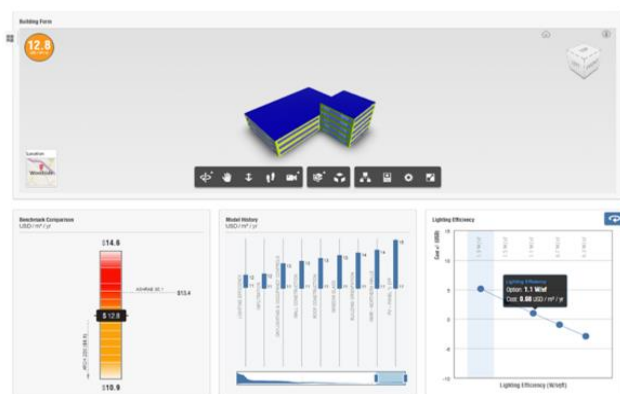
Першим і, мабуть, найбільш відомим є ПК «Ecotect» (Рис. 2, а). Цей комплекс дає змогу провести оцінку освітленості, акустики, шумового та вітрового поля, а також теплового навантаження на будівлю в єдиному програмному середовищі. Наразі розробка та підтримка продукту зупинена, а функціональні блоки програми були вбудовані в програмні продукти компанії Autodesk.

Програмні методи Ecotect отримали розвиток у хмарному сервісі від американської компанії Autodesk – Insight (Рис. 2, б). Програмний пакет націлений, в першу чергу, на розрахунок енергоефективності, але з можливістю налаштування параметрів системи освітлення, перерахування та отримання результатів в режимі реального часу.

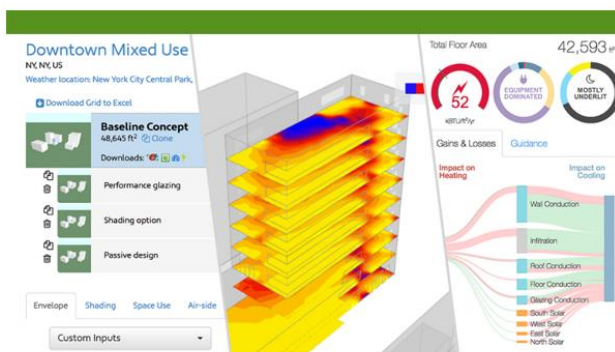
Одним з найбільш інтуїтивно зрозумілих програмних продуктів є «Sefaira» (Рис. 2, в), що наразі представляє собою плагін до Google SketchUp Studio. Комплекс має му-



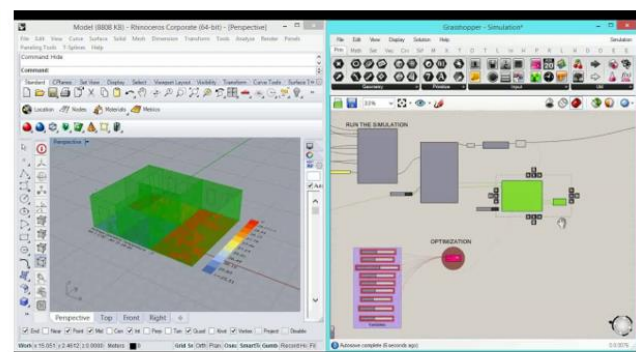
а



б



в



г

Рис. 2. Програмні комплекси: а – Ecotect; б – Autodesk Insight; в – Sefaira; г – Grasshopper-HoneyBee-Energy+

Fig. 2. Software systems: а – Ecotect; б – Autodesk Insight; в – Sefaira; г – Grasshopper-HoneyBee-Energy+



льтифункціональний інтерфейс, що дає змогу налаштовувати параметри та отримувати результати у вигляді схем та графіків «на льоту».

Але, безумовно, найбільш гнучкою та професійною системою є зв'язка середовища візуального програмування Grasshopper із програмним комплексом Ladybug/HoneyBee та Energy+ (Рис. 2, з). Grasshopper є плагіном до програми 3d моделювання, за допомогою якого користувач може візуально створювати програмний код. Підключивши бібліотеки Ladybug/HoneyBee, користувач отримує комплекс для аналізу ефективності будівлі з позиції освітленості та комфорту внутрішнього середовища. Крім цього, бібліотеки Ladybug/HoneyBee надають конектор до професійних пакетів програм Radiance та Energy+, що наразі об'єднані одним комплексом OpenStudio та підтримуються національною лабораторією відновлювальних ресурсів США – NREL.

Враховуючи сучасну підвищену щільність забудови у [1] було відкореговано методику розрахунку верхнього природного освітлення – формули враховують затінення ліхтарів сусідніми будівлями.

У попередніх нормах КПО нормувався тільки на горизонтальних площинах, хоча в певних приміщеннях (наприклад, в аудиторіях) зорова робота здійснюється не лише на горизонтальній, а і на вертикальній площині. Тому було введено нормування і на таких площинах.

Значний вплив на розподіл світлових потоків у приміщеннях справляє відбиття від внутрішніх поверхонь огорожень. Тому точне врахування коефіцієнтів відбиття кожної поверхні має важливий вплив на рівень освітленості і енергоефективність. В минулих нормах було рекомендовано для промислових будівель приймати середньозважений коефіцієнт відбиття не більше 0,3. Але є такі підприємства, як електронна промисловість, точне машинобудування, годинникова промисловість і т.п., приміщення яких мають дуже високі коефіцієнти відбиття внутрішніх поверхонь огорожень і така рекомендація не вірна. В нових нор-

мах це положення виправлено і не тільки для промислових, а і для громадських і житлових будівель.

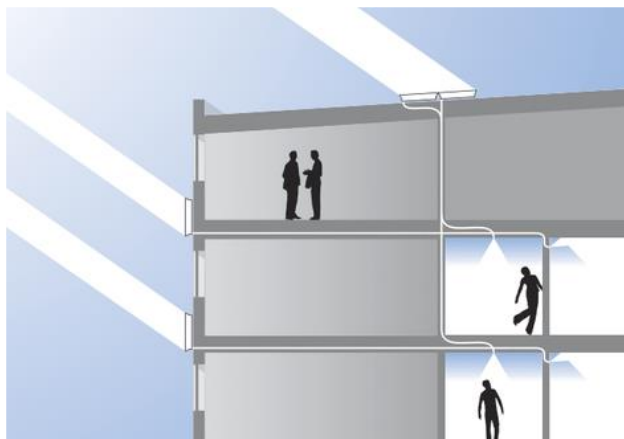
Дуже важливою з точки зору енергоефективності є погодженість питань природного освітлення з інсоляцією. Оскільки при південно-західних і західних орієнтаціях вікон суттєвим фактором надмірної інсоляції є перегрів приміщень, нормами передбачається обов'язкове проектування на таких вікнах сонцезахисних пристроїв, геометрію яких слід оптимізувати з врахуванням як світлотехнічних, так і теплотехнічних параметрів.

Ще одна суттєва особливість нових норм: системи природного освітлення доповнені новими видами: природне транспортоване та акумульоване природне освітлення, які вже застосовуються в архітектурних об'єктах багатьох країн світу.

Термін «транспортоване освітлення» описує різноманітні системи природного та штучного освітлення, що транспортують світловий потік в глибинні та підземні простори за допомогою дзеркального покриття внутрішньої поверхні конструкції [23-26].

Теоретичні основи використання світловодів для зменшення витрат на електроенергію закладені у роботах [27-29]. Автори використовують системний підхід оцінки за всім життєвим циклом експлуатації будівлі. Експериментальні та розрахункові дані, отримані в результаті досліджень М. Майхоуба показують, що, в залежності від територіального місцезнаходження, світлового клімату, типу світловоду та необхідного рівня освітленості, збереження електроенергії на освітлення може становити від 15 до 65%. При цьому період окупності для різних систем може становити від 4 до 12 років.

Світловоди мають великий потенціал як додаткова система природного освітлення – вони дозволять забезпечити природним освітленням приміщення, розташовані далеко від зовнішньої оболонки, що зменшує витрату на електроенергію та дозволяє підвищувати компактність будівлі (рис. 3, а). З іншого боку світловоди утворюють додаткові отвори в тепловій оболонці будівлі, що призводить до збільшення тепловтрат. Тому оцінка використання світловодів з



а



б

**Рис. 3.** Системи транспортованого та акумульованого природного освітлення: *а* – схема освітлення за допомогою світловодів [30]; *б* – проект штучних дерев у Бостоні (США) [31].

**Fig. 3.** Systems of transportable and accumulated natural light: *a* - lighting scheme with light conductors [30]; *b* - artificial trees project in Boston (USA) [31].

позиції енергоефективності будівлі потребує додаткового теоретичного та експериментального вивчення.

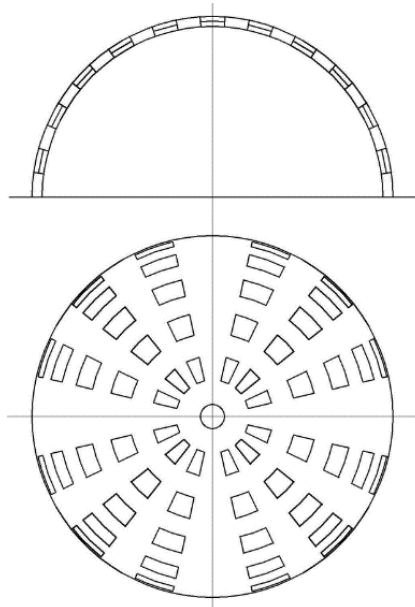
Акумульоване освітлення за допомогою світильників, які акумулюють денну світлову енергію від сонця і небозводу та використовують її для нічного освітлення, знайшло застосування для освітлення доріг та територій (Рис 3, б).

Серед питань нормування та розрахунку природного освітлення, які ще потребують подальшого удосконалення, необхідно зазначити наступні.

При нормуванні КПО регламентується окремо для бічного освітлення (мінімальна величина в найбільш віддаленій від світлопрорізів точці) і для верхнього або комбінованого (середнє по розрахункових точках значення). Розрахунок КПО робиться для цих систем освітлення за різними формулами, які дають різні результати [31]. Проте, існують випадки, коли віднесення світлопрорізів до однієї з цих систем неможливе, наприклад, у будівлі, показаної на рис. 4.

Інший момент, який значно впливає на енергоефективність будівлі, це розрахунковий стан небозводу.

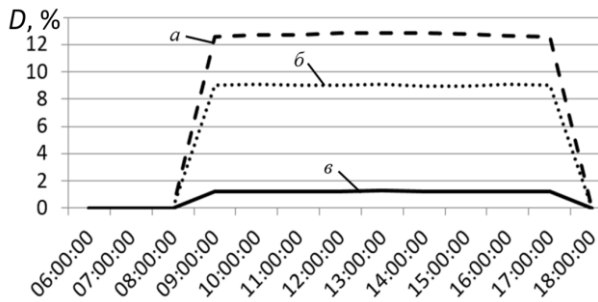
При похмурому небі (саме цей стан небозводу прийнятий в Україні в якості розрахункового) величина КПО змінюється тільки за меридіаном, причому величина



**Рис. 4.** Приклад системи природного освітлення, яку неможливо розрахувати за [1].

**Fig. 4.** An example of a natural lighting system that cannot be calculated for [1].

КПО не змінюється впродовж дня (рис. 5). Але в Україні переважає напів'ясний небозвід з середньою хмарністю 6,3 бали [33], а при напів'ясному небозводі КПО змінюється протягом доби і суттєво залежить від орієнтації світлопрорізу (рис. 6). Тому необхідно переходити до нормування і проектування систем природного освітлення при напів'ясному небі. Це, знову таки, вимагає



**Рис. 5.** Розподіл величини КПО на горизонтальній робочій поверхні впродовж дня при похмурому небозводі від: *a* – горизонтального, *б* – нахилоного, *в* – вертикального світлопрорізу.

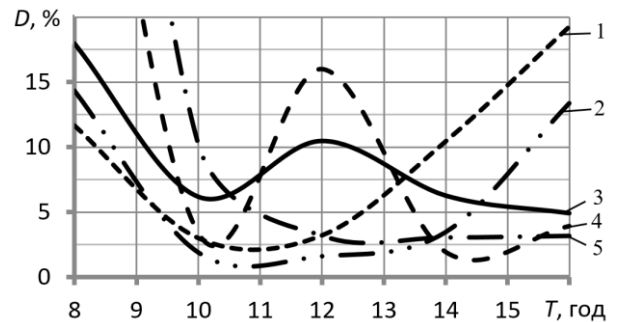
**Fig. 5.** The distribution of value  $D$  on a horizontal working surface during a day with a cloudy sky from: *a* – horizontal, *б* – inclined, *в* – vertical window.

використання комп'ютерних технологій. Треба тільки їх стандартизувати і навчити проектувальників ними користуватися.

У розділі «Суміщене освітлення» приділена увага економії енергії на освітленні приміщень, що мають велику глибину завдяки раціональному використанню одночасної дії природного та штучного освітлення. Значення суміщеного освітлення зросло в зв'язку з появою енергоефективних систем освітлення на основі світлодіодів.

У державах Західної Європи (Німеччина, Фінляндія, Великобританія та в ін.), в США і в Австралії отримали широке впровадження системи автоматичного регулювання систем суміщеного освітлення [34-36]. В нашій країні цьому треба приділити значну увагу.

При проектуванні суміщеного освітлення спірним моментом є визначення єдиного критерію оцінки природного і штучно освітлення. У [1] визначена величина КПО в системі суміщеного освітлення. Але в розрахункову точку приміщення надходить як природне світло, так і світло від штучних джерел. Тому має бути єдиний параметр, який характеризує загальну насиченість світлом в точці. Він залежить від характеру зорової роботи, контингенту людей і тривалості їх перебування в цьому приміщенні тощо.



**Рис. 6.** Розподіл величин КПО на горизонтальній робочій поверхні впродовж дня при напів'ясному небозводі від вертикального вікна, орієнтованого на: 1-ПдЗ, 2-З, 3-Пд, 4-С, 5-ПдС.

**Fig. 6.** The distribution of value  $D$  on a horizontal working surface during a day with a semi-clear sky from a vertical window orienting to: 1- SW, 2-W, 3-S, 4-E, 5-SE.

Розділ «Штучне освітлення» зазнав найбільших змін:

- скореговано норми, розрахункові формули та методики розрахунку штучного освітлення, які узгоджено з МОЗ України;
- в освітлювальні прилади додано світлодіодні світильники;
- норми освітлення скореговано за європейськими нормами;
- скореговано визначення розподілу аварійного освітлення на: евакуаційне і резервне, відповідно до європейського нормативу CEN/TR 12101-4:2009 Emergency escape lighting systems (Системи освітлення аврійного виходу), та норми аварійного освітлення доведені до значень стандарту ISO 30061:2007(E) Emergency lighting (Аварійне освітлення);
- закріплено основні вимоги ЄС щодо енергетичної ефективності будівель (Директиви 2010/30/ЄС, 2012/27/ЄС, 2012/31/ЄС).

Потенціал енергозбереження при реконструкції існуючого житлового фонду, бюджетних та цивільних будівель складає до 40% тільки на штучному освітленні. Нова редакція розділу «Штучне освітлення» повністю виключає застосування не енергоефективних джерел освітлення, встановлює зв'язок з нормативними документами з

управління інженерними мережами з рівнями автоматизації будівлі.

Разом з тим, нові норми не вирішують усіх питань, пов'язаних з застосуванням енергоефективних джерел світла. Ці питання є актуальними не лише в Україні.

За матеріалами брифінгу Європейського парламенту, що пройшов у жовтні 2015 р., поняттю «енергоефективність» дається досить широке тлумачення, як «відношення вихідної продуктивності, послуг, товарів або енергії до вхідної енергії». Також окреслюється така серйозна проблема, пов'язана з підвищенням енергоефективності, як ефекти відскоку (rebound effects) [16], які, наприклад, у зовнішньому освітленні проявляються у збільшенні використання освітлювальних установок у відповідь на зниження вартості світла, тобто заощаджені кошти витрачаються на освітлення нових ділянок міського простору [37]. Таким чином, через ефекти відскоку, поліпшення енергоефективності часто не призводить до очікуваного рівня енергозбереження, сприяючи збільшенню енергоспоживання. У матеріалах брифінгу зазначається, що у 11 держав-членів ЄС ефекти відскоку становили понад 50%, а у шести з них цей показник перевищив 100% [16].

Іншою, актуальною проблемою енергоефективності зовнішнього освітлення є світлове забруднення навколишнього середовища. Наразі це явище є важливою складовою наукової дискусії з двох основних причин: екологічної – викривлення природного ефекту нічного неба з усіма супутніми цьому явищу негативними наслідками для флори, фауни і самопочуття людини та енергетичної – нераціональне споживання електроенергії. За матеріалами останніх досліджень [37] у період з 2012 по 2016 рр. площа штучно освітлених ділянок Землі (у візуальному діапазоні людини) зросла не менше ніж на 2,2% на рік, а загальне світіння на 1,8% на рік. Ця тенденція свідчить про посилення світлового забруднення.

Заходи щодо виправлення такої ситуації можуть включати: загальний пріоритет направлено освітлення при забезпеченні мінімальних рівнів освітленості [19], а та-

кож виключно цільове використання освітлення, що автоматично підвищує його раціональність.

Світлодіоди безумовно є найбільш енергоефективними джерелами штучного світла, проте, навіть на сьогодні, серед спеціалістів галузі іноді зустрічаються сумніви щодо доречності широкого використання цих джерел для освітлення приміщень. Такі тенденції пояснюються певними особливостями спектру білих світлодіодів, які пов'язані з технологією їх виробництва. Так Рис. 7 ілюструє пік у синій області спектру, характерний для випромінювання білого світлодіоду, виготовленого за звичайною технологією, коли на кристал, що випромінює світло у синій області, наносяться люмінофори, за рахунок чого і відбувається перетворення світла кристала на біле [38].



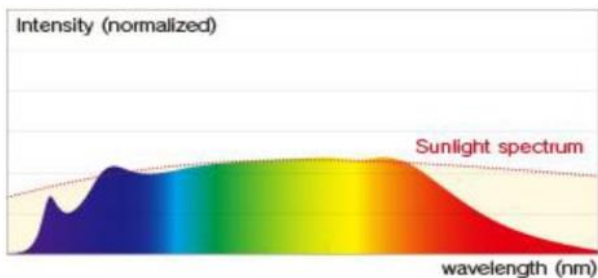
**Рис. 7.** Спектр випромінювання, утворений з використанням двох люмінофорів і синього світлодіоду.

**Fig. 7.** Spectrum of radiation formed using two luminophores and a blue LED.

А як відомо, світло саме синьої частини спектру справляє найбільший вплив на циркадну систему людини і, відповідно, на її біологічний годинник та регуляцію циклу сну/бадьорості. Проте, відомі світові виробники світлодіодів (кристалів) постійно шукають нові можливості вирішення цієї проблеми. Прикладом може слугувати технологія із заміною синього світлодіоду, що традиційно використовується для відтворення білого світла, на фіолетовий (або пурпуровий) у поєднанні зі складним трьохкомпонентним люмінофором [38]. Таким чином, нівелюється пік, присутній у спектрі звичайних білих світлодіодів у короткохвильовій (синій) області спектру, а спектр випромінювання світлодіодів наближається



до спектру випромінювання сонця (рис. 8), чим створюється можливість високоякісного освітлення, орієнтованого на людину (Human Centric Light).



**Рис. 8.** Спектр випромінювання, утворений з використанням трьох люмінофорів і фіолетового світлодіоду.

**Fig. 8.** Spectrum of radiation formed with the use of three phosphors and a violet light-emitting diode.

Вищеописана технологія на сьогодні впроваджена у масове виробництво. А в лабораторних умовах, тим часом, було створено новий матеріал – стабільно працюючу наноструктуру (дослідники назвали її «випромінюючий біле світло пісок» [14]), що безпосередньо випромінює біле світло, яке не потребує подальших перетворень і спектр якого не має недоліків, властивих білим світлодіодам, виготовленим за традиційною технологією.

Також проектні розробки відомих світових виробників світлодіодної продукції, успішно впроваджені в освітлення приміщень різного призначення, зокрема офісних і шкільних будівель [39,40], доводять, що такі енергоефективні джерела світла як світлодіоди можуть також забезпечити і високі показники якості освітлення. А в Україні, в Інституті медицини праці НАМН, розроблено метод створення комфортного світлового середовища за принципом саморегуляції організму, і, за результатами проведених офтальмогігієнічних досліджень, встановлено фізіологічні закономірності працездатності людини при роботі у світловому середовищі, обумовленому світлодіодними джерелами світла. А також, в залежності від різних рівнів освітленості і колірної температури, надано ряд рекоменда-

цій для забезпечення комфортного світлового середовища з використанням світлодіодних світильників в офісних приміщеннях [38, с. 56–57].

Підсумовуючи попередньо проведений аналіз, можна зауважити, що подальші удосконалення стандартів і норм, стосовно світлової енергоефективності штучного освітлення, будуть проводитися у напрямку максимально можливого врахування якісних, а також, перегляду принципів нормування кількісних параметрів освітлення. Так, наприклад, за умови граничного зменшення витрат на зовнішнє освітлення (при використанні світлодіодів у поєднанні з фотоелектричними елементами), значного зниження початкових витрат на впровадження цих технологій за рахунок масовості їх виробництва, економічний фактор не може відігравати головну роль у стримуванні надмірного освітлення. Тому, для запобігання небезпечного, у екологічному сенсі, світлового забруднення навколишнього середовища регулятивна роль норм і стандартів зміщується із визначення мінімально допустимих рівнів освітленості до визначення її оптимальних рівнів, або ж діапазону значень від мінімальних до максимально допустимих.

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Прийняття нової редакції ДБН В.2.5-28 дозволяє більш раціонально визначати мінімально необхідну площу світлопрозорих конструкцій в залежності від кліматичних умов району будівництва, орієнтації світових прорізів, їхнього заповнення, наявності затінення сусідніми будівлями та сонцезахисними пристроями. Крім того, з'явилася можливість проектувати сучасні системи природного транспортованого та акумульованого освітлення, а в штучному освітленні використовувати енергозберігаючі LED-технології. Все це значно знизить витрати енергії на освітлення приміщень та території, знизить навантаження на системи кліматизації будівель.

Наступними задачами є розроблення державної програми зі створення системного комплексу нормативних документів рівня стандартів та стандартів-настанов з проектування, розрахунку, монтажу та технічного обслуговування систем природного, суміщеного і штучного освітлення, а також розроблення верифікованих комп'ютерних програм для розрахунку систем природного освітлення та надання їм статусу нормативних.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Природне і штучне освітлення** : ДБН В.2.5-28-2018. [Чинні з 2019-03-01] / Мінрегіон України. К. : Укрархбудінформ, 2018. 137 с. (Державні будівельні норми України).
2. **Сеппанен О.** Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС. Энергосбережение. 2010. № 7. С. 42-51.
3. Daylight in Buildings – A source book on daylighting systems and components (A report of IEA SHC Task 21/ ECBCS Annex 29). URL: <https://www.researchgate.net/publication/37410170>
4. **Tagliabue L. C., Buzzetti M., Arosio B.** Energy saving through the sun: Analysis of visual comfort and energy consumption in office space. *Energy Procedia*. 30 (2012), pp. 693-703.
5. **Nabil A., Mardaljevic J.** Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*. 38. 2006, pp. 905-913.
6. **Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Z.** Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, v. 3, no. 1, July 2006, pp. 1-25.
7. **Природне і штучне освітлення** : ДБН В.2.5-28-2006. [Чинні з 2006-10-01 до 2019-02-28] / Держбуд України. К. : Укрархбудінформ, 2006. 76 с. (Державні будівельні норми України).
8. **Природне і штучне освітлення** : ДБН В.2.5-28-2006. Зміна № 2 [Чинна з 2012-09-01 до 2019-02-28] / Мінрегіон України. К. : Укрархбудінформ, 2012. 32 с. (Державні будівельні норми України).
9. **Рынин Н.А.** Дневной свет и расчеты освещенности помещений. С. Петербург, 1908. с. 159.
10. **Данилюк А.М.** Расчёт естественного освещения помещений. Л.-М. : ГИСЛ, 1941. 137 с.
11. **DIN 5034-3:2007 : Daylight In Interiors** - Part 3: Calculation (Foreign Standard). 18 p. (Національний стандарт Німеччини).
12. **BS 8206-2:2008 Lighting for building** – Part 2: Code of practice for daylighting. 56 p. (Стандарт Британії)
13. **Julle Oksanen.** Design Concepts in Architectural Outdoor Lighting Design Based on Metaphors as a Heuristic Tool / Aalto University publication series Doctoral Dissertations 73/2017 – Helsinki, Finland. 2017. 294 p. URL: [https://shop.aalto.fi/media/filer\\_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen\\_verkkoversio.pdf](https://shop.aalto.fi/media/filer_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen_verkkoversio.pdf)
14. **Cintia Ezquerro, Elisa Fresta, Elena Serrano, Elena Lalinde, Javier García-Martínez, Jesús R. Berenguer and Rubén D. Costa.** White-emitting organometallo-silica nanoparticles for sun-like light-emitting diodes. *Materials Horizons*, published on 10 Sep 2018. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/article/nding/2018/mh/c8mh00578h#!divAbstract>
15. **EN 12464-1:2002 Light and lighting** – Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. Approved by CEN on 2002–10–16. – Brussels : European committee for standardization : Management Centre, 2002. 43 p.
16. **Gregor Erbach.** Understanding energy efficiency. European Parliamentary Research Service (EPRS). Members' Research Service PE 568.361. Briefing, October 2015. 10 p. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS\\_BRI\(2015\)568361\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI(2015)568361_EN.pdf)
17. **Charlotte & Peter Fiell.** 1000 Lights. Köln: TASCHEN GmbH, 2013. 639 p.
18. **Ulrika Wänström Lindh.** Light Shapes Spaces. Experience of Distribution of Light and Visual Spatial Boundaries. Gothenburg (Sweden): HDK – School of Design and Crafts University of Gothenburg, 2012. 305 p. URL: [https://www.academia.edu/38392439/Light\\_Shapes\\_Spaces](https://www.academia.edu/38392439/Light_Shapes_Spaces)
19. **Perry M., Fennelly L.** The Handbook for School Safety and Security [Text]. Waltham, USA: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2014. 420 p.
20. **Будівельна кліматологія** : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. [Чинний від 2011-11-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с. (Національний стандарт України).
21. **Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances:** Direct Normal and

- Hemispherical on 37° Tilted Surface : ASTM G173-03(2012). American Society for Testing and Materials. 48pp. (ASTM standard). URL: <http://www.astm.org/Standards/G173.htm>.
22. **Сергейчук О. В.** Пропозиції з розроблення комплексу нормативних документів з освітлення. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць*. Вип. 77. К. : ДП НДІБК, 2013. С. 288-292.
  23. **Carter, David.** Developments in tubular daylight guidance systems. *Building Research and Information*, 2006. №32. 2006. 220-234.
  24. **Mohammed Al Morwaee.** Tubular Daylight Guidance Systems: Cost, Value and Building Codes. Riga, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 220 с.
  25. **Mayhoub, M. S.** Innovative daylighting systems challenges: A critical study. *Energy and Buildings*. 2014. №80. С. 394-405.
  26. **Радомцев Д.О.** Аналіз аналітичних методів розрахунку ефективності порожнистих трубчастих світловодів. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2013. №4. с. 226-230.
  27. **Mayhoub M.S., Carter D.J.** Hybrid lighting systems: A feasibility study for Europe. *Lighting research and Technology*. Vol.44, no.3, 2011. pp. 261-276.
  28. **Mayhoub M.S., Carter D.J.** Hybrid lighting system: Cost and benefits. XIV national conference with International participations “*Bullight 2010*”, 10-12 June 2010, Varna, Bulgaria.
  29. **Mayhoub M.S., Carter D.J.** The cost and benefits of using daylight guidance to light office buildings. *Building and environment*. Vol.46, 2011. pp. 698-710.
  30. **Windowless Daylight:** Fiber Optics Project Sun & Sky Inside. URL: <http://dornob.com/windowless-daylight-fiber-optics-project-sun-sky-inside/>
  31. **Светящиеся деревья.** URL: <http://solium.ru/forum/showthread.php?t=6674>
  32. **Сергейчук О.В.** Деякі геометричні питання розрахунку природного освітлення приміщень за нормативною методикою. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. Львів. : Львівська політехніка, 2004. № 505. С. 453-456.
  33. **Єгорченков В.О.** Обґрунтування розрахункового стану небозводу в Україні при формуванні природного світлового режиму приміщень. *Наукові нотатки: Сучасні проблеми геометричного моделювання*. Луцьк, 2008. Вип. № 22, Частина 2. С. 113-118.
  34. **Tubbesing W.** Die Beleuchtung eines neuen Forschungsgebäudes in Muenchen. *Licht-technik*, 1970. №5. pp. 257-261.
  35. **High Technology Lighting Controls for historic Building Saves Energy.** *Lighting in Australia*, 1984. №10. 25 p.
  36. **Lighting Control Solutions** // WAGO. 2016. – 44 p. URL : <https://www.wago.com/information/pdf/60290981.pdf>
  37. **Jonathan Bennie, Christopher D. Elvidge, Kevin J. Gaston and Luis Guanter Christopher C. M. Kyba, Theres Kuester, Alejandro Sánchez de Miguel, Kimberly Baugh, Andreas Jechow, Franz Hölker.** Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 22 Nov 2017: Vol. 3, no. 11, e1701528, DOI: 10.1126/sciadv.1701528. URL : [advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528](https://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528)
  38. **Світлодіоди: Новинки. Практика. Перспективи.** Офіційний каталог виставки світлодіодного освітлення LED expo. *Матеріали конференції LED Progress*. 13–15 вересня 2017 р. 128 с.
  39. **New Work. Dynamic lighting concepts.** Trilux. URL : <https://www.trilux.com/en/applications/office-anwendungsseite/new-work/>
  40. **Helping students stay focused.** Philips. URL : <http://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/education/wintelre>

## REFERENCES

1. **Ministry of Regional Development of Ukraine (2018).** *Natural and artificial lighting (DBN V.2.5-28-2018)*. Kyiv, Ukraine: Author, 133 (in Ukrainian).
2. **Seppanen, O. (2010).** Requirements for energy efficiency of buildings in EU countries. *Energy Saving*, 7, 42-51 (in Russian).
3. **ECBCS (2000).** *Daylight in Buildings – A source book on daylighting systems and components* (A report of IEA SHC Task 21/ ECBCS Annex 29, July 2000). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/37410170>
4. **Tagliabuea, L.C, Buzzetti, M & Arosio B. (2012).** Energy saving through the sun: Analysis of visual comfort and energy consumption in office space. *Energy Procedia*, 30, 693-703.

5. **Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2006).** Useful daylight illuminance: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38, 905-913.
6. **Reinhart, C.F., Mardaljevic, J. & Rogers, Z. (2006).** Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3 (1), 1-25.
7. **State Committee of Ukraine on Building and Architecture (2006).** *Natural and artificial lighting (DBN V.2.5-28-2006)*. Kyiv, Ukraine: Author, 76 (in Ukrainian).
8. **Ministry of Regional Development of Ukraine (2012).** *Natural and artificial lighting (DBN V.2.5-28-2006. Change No. 2)*. Kyiv, Ukraine: Author, 32 (in Ukrainian).
9. **Rynin, N.A. (1908).** *Daylight and calculation of room illumination*. Sankt-Petersburg, Russian Empire: Yu.N. Erlich, 159 (in Russian).
10. **Danilyuk, A.M. (1941).** *Calculation of daylighting in rooms*. Leningrad, USSR: GISL, 137 (in Russian).
11. **German Institute for Standardization (2007).** *Daylight in interiors – Part 3: Calculation (DIN 5034-3:2007)*. Berlin, Germany: Author, 18.
12. **British Standards Institution (2008).** *Lighting for building – Part 2: Code of practice for daylighting (BS 8206-2:2008)*. London, Great Britain: Author, 56
13. **Oksanen, J. (2017).** *Design Concepts in Architectural Outdoor Lighting Design Based on Metaphors as a Heuristic Tool* (Doctoral Dissertations). Retrieved from [https://shop.aalto.fi/media/filer\\_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen\\_verkkoversio.pdf](https://shop.aalto.fi/media/filer_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen_verkkoversio.pdf)
14. **Ezquerro, C., Fresta, E., Serrano, E., Lalinde, E., García-Martínez, J., Berenguer J.R. & Costa, R.D. (2018)** White-emitting organometallo-silica nanoparticles for sun-like light-emitting diodes. *Materials Horizons*. Retrieved from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/mh/c8mh00578h#!divAbstract>
15. **European committee for standardization (2002).** *Light and lighting – Lighting of work places. – Part 1: Indoor work places. – Approved by CEN on 2002–10–16 (EN 12464-1:2002)*. Brussels, Belgium: Autor, 43.
16. **Erbach, G. (2015).** Understanding energy efficiency. *European Parliamentary Research Service. Members' Research Service PE 568.361*. Retrieved from [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS\\_BRI\(2015\)568361\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI(2015)568361_EN.pdf)
17. **Charlotte & Fiell, P. (2013).** *1000 Lights*. Cologne, Germany: TASCHEN GmbH, 639.
18. **Wänström, L.U. (2012).** *Light Shapes Spaces. Experience of Distribution of Light and Visual Spatial Boundaries*. Gothenburg, Sweden: HDK – School of Design and Crafts University of Gothenburg. Retrieved from [https://www.academia.edu/38392439/Light\\_Shapes\\_Spaces](https://www.academia.edu/38392439/Light_Shapes_Spaces)
19. **Perry, M., Fennelly L. (2014).** *The Handbook for School Safety and Security*. Waltham, Massachusetts: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 420.
20. **Ministry of Regional Development of Ukraine (2011).** *Building climatology (DSTU-N B V.1.1-27:2010)*. Kyiv, Ukraine: Author, 127 (in Ukrainian).
21. **American Society for Testing and Materials (2012).** *Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface (ASTM G173-03)*. Retrieved from <http://www.astm.org/Standards/G173.htm>
22. **Sergeychuk, O.V. (2013).** Proposals for the development of a lighting regulatory documents set. *Building constructions*, 77. Kyiv, Ukraine: NIISK, 288-292 (in Ukrainian).
23. **Carter, D. (2006).** Developments in tubular daylight guidance systems. *Building Research and Information*, 32, 220-234.
24. **Morwaee, M. (2014).** Tubular Daylight Guidance Systems. *Cost, Value and Building Codes*. Riga, Livonian: LAP LAMBERT Academic Publishing, 220.
25. **Mayhoub, M. S. (2014).** Innovative daylighting systems challenges: A critical study. *Energy and Buildings*, 80, 394-405.
26. **Radomtsev, D.O. (2013).** Analysis of analytical methods for calculating the efficiency of hollow tubular daylight guidance systems. *Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture*, 4. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 226-230 (in Ukrainian).
27. **Mayhoub, M.S. & Carter, D.J. (2011).** Hybrid lighting systems: A feasibility study for Europe. *Lighting research and Technology*, 44 (3), 261-276.
28. **Mayhoub, M.S. & Carter, D.J. (2010).** Hybrid lighting system: Cost and benefits. XIV National Conference with International Participations "Bullight 2010", 10-12 June



2010. Varna, Bulragia. Retrieved from <https://www.academia.edu/245533/>
29. **Mayhoub, M.S. & Carter, D.J. (2011)**. The cost and benefits of using daylight guidance to light office buildings. *Building and Environment*, 46, 698-710.
30. **Windowless Daylight: Fiber Optics Project Sun & Sky Inside**. Retrieved from <http://dornob.com/windowless-daylight-fiber-optics-project-sun-sky-inside/>
31. **Glowing trees (2014)**. Retrieved from <http://solium.ru/forum/showthread.php?t=6674> (in Russian)
32. **Sergeychuk, O.V. (2004)**. Some geometric issues of premises daylighting calculation according to the normative methodology. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, 505. Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic, 453-456 (in Ukrainian).
33. **Egorchenkoy, V.O. (2008)**. Substantiation of the calculated sky state in Ukraine during the formation of the daylight regime of premises. *Scientific Notes: Modern Problems of Geometric Modeling*, 22 (2). Lutsk, Ukraine, 113-118 (in Ukrainian).
34. **Tubbesing, W. (1970)**. The lighting of a new research building in Munich. *Lichttechnik*, 5, 257-261. (in Germany).
35. **High Technology Lighting Controls for historic Building Saves Energy. (1984)**. *Lighting in Australia*, 10, 25.
36. **Lighting Control Solutions. (2016)**. Retrieved from <https://www.wago.com/infomaterial/pdf/60290981.pdf>
37. **Kyba Ch.C., M, Kuester, Th, Miguel, A.S., Baugh, K., Jechow, A., Hölke, Guanter L. (2017)**. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3 (11). DOI: 10.1126/sciadv.1701528.
38. **LEDs: New. Practice. Perspectives (2017)**. The official exhibition catalog of LED lighting LED expo. *Materials of Conference the LED Progress. September 13-15, 2017*, 128.
39. **New Work. Dynamic lighting concepts. Trilux (2019)**. Retrieved from: <https://www.trilux.com/en/applications/office-anwendungsseite/new-work/>
40. **Helping students stay focused. Philips (2019)** Retrieved from: <http://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/education/wintelre>

**Development of energy efficiency issues in DBN V.2.5-28: 2018 "Natural and artificial lighting"**

*Volodymyr Egorchenkoy, Lydia Koval,  
Dmytro Radomtsev, Oleg Sergeychuk*

**Summary.** Implementation of more efficient, from the point of energy-, resource-saving and ecology, technologies in the practice of traditional design and construction in order to reduce operating costs, creation of comfortable living environment, natural fuel usage reduction, alternative and renewable energy sources usage increasing, preservation of natural environment, and, as a result, creation of a modern sustainable environment, requires continuous improvement of the design of systems either natural or artificial.

On March 1, 2019, the new edition of DBN V.2.5-28 "Natural and Artificial Lighting" came into force [1]. Work on norms lasted more than 5 years. As part of the author's team - 25 specialists from 10 organizations.

The need for new edition development was due to the improvement of the methodology for daylight calculation, which is tied to the climatic conditions of Ukraine and the appearance and widespread use of energy-efficient LED light sources for artificial lighting of premises and territories.

It is well-known that energy costs for artificial lighting in a one-family house make up about 10% of total energy consumption, and in office buildings they reach 20%.

Winter heat losses through the windows reach 22-25% of the total heat loss through to the thermal insulation shell of the building, and the summer overheating of the premises is almost entirely due to heat transfer through the transparent surfaces, since on a clear day, penetrating solar radiation through windows gives more than 85% of heat consumption.

During the creation of the DBN's new edition, the experience of foreign countries and the recommendations of the International Commission on Illumination had been taken into consideration. During the work process, more than 500 comments were received and partly taken into account in the draft version of the norms. This article deals with the main provisions of the norm's new edition which significantly affect the energy efficiency of the designed buildings, structures and formulate the next steps.

**Keywords.** Natural lighting; artificial lighting; combined lighting; LED technology; climatic zoning.