

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Ю. О. ВАСИЛЬЄВА

КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СВІТЛОТЕХНІЦІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019**

УДК 628.9:004.42(075.8)
В19

Автор

Васильєва Юлія Олегівна, кандидат технічних наук, доцент

Рецензенти:

П. І. Неежмаков, доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою світлотехніки та джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

Л. А. Назаренко, доктор технічних наук, професор кафедри світлотехніки та джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано до друку Вченою радою
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, протокол № 7 від 25 січня 2019 р.*

Васильєва Ю. О.

В19 Комп'ютерні інформаційні технології в світлотехніці: навч. посібник / Ю. О. Васильєва; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 115 с.

У навчальному посібнику розглянуті основні питання нормування, розрахунку і проектування систем освітлення спортивних споруд за допомогою спеціальних комп'ютерних програм. Наведені характеристики освітлювальних приладів, що застосовуються для спортивного освітлення. Надані типові схеми освітлення різних спортивних споруд. Призначений для студентів технічних спеціальностей.

УДК 628.9:004.42(075.8)

© Ю. О. Васильєва, 2019

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ГЛОБАЛЬНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ЙОГО МОДЕЛІ.....	7
1.1 Глобальне освітлення.....	7
1.2 Метод прямого трасування променів.....	8
1.3 Метод зворотного трасування променів.....	9
1.4 Основні рівняння освітленості та візуалізації.....	13
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	19
2.1 Програми світлотехнічного розрахунку. Алгоритм роботи в програмах.....	19
2.2 Проектування освітлювальної установки в Calculux.....	25
2.3 Основи моделювання освітлення в програмі Relux Professional.....	28
2.4 Основи моделювання освітлення в програмі Dialux.....	40
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЯКОСТІ ОСВІТЛЕННЯ ЗМОДЕЛЬОВАНОГО У ПРОГРАМІ DIALUX.....	72
3.1 Нормовані якісні показники внутрішнього освітлення.....	72
3.2 Якісна оцінка світлового середовища в приміщеннях за критерієм насиченості світлом.....	83
3.3 Оцінка об'єднаного показника дискомфорту у програмі Dialux.....	91
3.4 Аналіз енергетичної оцінки освітлювальної установки в програмі Dialux evo згідно EN 15193.....	100
3.5 Формування документації при проектування освітлювальної установки в програмі Dialux evo.....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	115

ВСТУП

Застосування сучасних комп'ютерних програм є необхідним для швидкого створення якісного освітлення, гнучкого трансформування систем на етапі проектування для отримання найкращого в кожному конкретному випадку інженерного рішення – надійного, безпечного, комфортного для глядачів, гравців, телезйомки і прийняттого для реального виконання монтажу й наступного обслуговування. Комп'ютерне світлотехнічне проектування має суттєві відмінності від стандартної методики проектування, заснованої на інженерних методах розрахунку світлотехнічних параметрів. Основним інструментом у цьому випадку є світлотехнічна програма (розрахункове середовище, що використовує метод Radiosity), а не комплекс спрощених методів розрахунку. Розрахунок світлотехнічних показників освітленості за методом Radiosity виконується на основі методів кінцевих елементів, що і формує головну відмінність розрахункових методик.

Наразі не існує досконалих методик проектування освітлювальних установок в умовах використання світлотехнічних програм. Якщо раніше інженеру-світлотехніку для виконання світлотехнічного проекту достатньо було мати знання у галузі світлотехніки, то тепер до цього додається як невід'ємна частина знання комп'ютерної графіки, яка надає потужні інструменти світлотехнічного проектування у вигляді тривимірних розрахункових програм. Проте на практиці їхнє використання без належної методики не завжди дає позитивний результат. Що можуть дати за собою такого роду зміни? Загалом змінюється сам підхід до світлотехнічного проектування. Якщо раніше основний час у проектувальника під час розроблення освітлювальної установки йшов на розрахунок (значень освітленості і яскравості в контрольних точках), то тепер на розрахунок необхідно декілька секунд.

Що саме дають світлотехнічні програми, крім швидкості розрахунку? Для того щоб відповісти на поставлене запитання, необхідно згадати про різницю використаних у розрахунках методів. Головною перевагою методу Radiosity над інженерними методами розрахунку є можливість отримання фізично точного розподілу випромінювання на моделі освітлювальної установки, яка проектується з урахуванням багаторазових відображень, що неможливо отримати інженерними методами. Цей факт ставить крапку на викорис-

танні інженерних методів у проектуванні освітлювальних установок (ОУ) закритого типу (інтер'єри, спортивні споруди і т. д.).

Використання у світлотехнічних програмах електронних баз значно скорочує час на пошук оптимального світлового обладнання. Світлотехнічні програми дозволяють виконувати розрахунок ОУ на основі реальних геометричних розмірів освітлюваного об'єкта, мають засоби для детального моделювання інтер'єрного і навколишнього простору. Вони містять також засоби для моделювання фотометричних властивостей матеріалів, що використовуються у тривимірній сцені, що загалом дає можливість програмі використовувати метод трасування променів для створення фотореалістичних зображень майбутньої ОУ. На відміну від інженерних методів розрахунку ОУ при застосуванні світлотехнічних програм використовується інший підхід до світлотехнічного проектування.

Існує триетапна структура. Першим етапом є геометричне моделювання об'єкта сцени, що освітлюється. Мається на увазі набір методик твердотілого тривимірного моделювання на основі існуючих креслень, фотографій та іншої інформації. Другим етапом є світлотехнічний розрахунок з вибором світлового обладнання. На цьому етапі, залежно від розрахункової програми, підбираються оптимальні розрахункові параметри: крок розрахункової сітки, метод розрахунку, точність та ін. Третій етап – це генерація фотореалістичних зображень і виведення на друк розрахункової документації по проекту. Звісно, під час проведення проектних робіт постає необхідність переходу з етапу на етап і в зворотному порядку для досягнення оптимальних кількісних, якісних і естетичних критеріїв ОУ. Розглянуті у цій роботі світлотехнічні параметри дуже різноманітні як за засобами проектування, так і за сферою застосування, проте мають подібні риси.

У цій роботі ми формуємо методи проектування ОУ, спираючись на загальні підходи й принципи до вибору програм і проведення розрахунку. Ключовим критерієм вибору світлотехнічних програм є точність розрахунку значень, яка повинна задовольняти світлотехнічним критеріям і не вносити додаткової похибки. Необхідно також зауважити, що в цій роботі ми розглядаємо найбільш розповсюджені спортивні споруди і методи їхнього освітлення, тим самим підкреслюючи ще раз актуальність проблеми. Проте не варто забувати, що з переходом від інженерних методів розрахунку до комп'ютерних постає низка проблем, що потребують чіткого розв'язання.

Якщо не зупинятися на фінансових труднощах, пов'язаних із модернізацією комп'ютерного парку на підприємствах, то залишаються проблеми і задачі наукового характеру, які потрібно вирішувати:

- кількість світлотехнічних програм значна, що, зі свого боку, призводить до проблеми чіткого вибору тієї або іншої програми під конкретну світлотехнічну задачу;

- визначення похибки розрахунку світлотехнічних параметрів у програмах, відносно точних аналітичних рішень;

- розроблення технології проектування освітлення спортивних споруд програмними засобами;

- формулювання принципів співвідношення світлотехнічних програм з САПР дизайнерськими й архітектурними додатками;

- розроблення методів комп'ютерного аналізу і розрахунку спортивного аналізу на основі метода Radiosity;

- розрахунок і оцінка світлового поля у просторі ОУ. У межах цієї роботи сформульовані рішення визначених завдань і надані практичні рекомендації щодо їхнього застосування у проектній світлотехнічній роботі підчас освітлення спортивних споруд.

РОЗДІЛ 1 ГЛОБАЛЬНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ЙОГО МОДЕЛІ

1.1 Глобальне освітлення

Алгоритми локального освітлення описують те, як кожна поверхня відбиває або пропускає світло. Ці математичні алгоритми обчислюють інтенсивність, колір і подальший (після відображення або проходження наскрізь) розподіл світла, що впав на поверхню об'єкта. Найпростіші з таких алгоритмів розглядають тільки світло, безпосередньо від джерел світла до поверхні, що тонується.

Однак алгоритми локального освітлення не дозволяють отримувати коректні підсумкові зображення, тому що не враховують більш складні взаємодії поверхонь і освітлення сцени. Ось тільки деякі з них:

- поверхні можуть блокувати частину падаючого на них світла, а відкидати тіні на інші поверхні;
- у блискучих поверхнях можуть бути присутніми відображення інших об'єктів;
- на поверхнях можуть виникати «рефлекси»;
- прозорі поверхні дозволяють бачити об'єкти, що знаходяться за ними.

Алгоритми прорахунку глобального освітлення при візуалізації коректно враховують проходження світла між поверхнями, що вирішує поставлені проблеми.

Пряме і зворотне трасування променів. Сутність методу полягає у відстеженні траєкторій променів і розрахунку взаємодій з лежачими на траєкторіях об'єктами, від моменту випускання променів джерелом світла до моменту потрапляння в камеру. Під взаємодією променя з об'єктами розуміються процеси дифузного, багаторазового дзеркального відображення від їхніх поверхонь і проходження променів крізь прозорі об'єкти. Отже, raytracing – перший метод розрахунку глобального освітлення, який розглядає освітлення, затінення (розрахунок тіні), багаторазові відбиття і заломлення. Розрізняють два основних види методу трасування променів: прямий – forward raytracing, і зворотний – backward raytracing.

Raytracing узагалі не використовує моделі затінення. Розрахунок освітленості виконується в усіх точках перетину променів і об'єктів.

1.2 Метод прямого трасування променів

Пряме трасування променів. У методі прямого трасування траєкторії променів будуються від джерела на всі точки всіх об'єктів сцени (первинні промені). Потім перевіряється орієнтація поверхні в кожній її точці щодо джерела, і якщо точка лежить на боці об'єкта, зверненої в протилежний від джерела бік, точка з розрахунків освітленості виключається. Для всіх інших точок обчислюється освітленість за допомогою локальної моделі освітлення. Якщо об'єкт не є відображуваним або прозорим, тобто поверхня об'єкта тільки дифузно розсіює світло, траєкторія променя на цій точці обривається (закінчується). Якщо ж поверхня об'єкта має властивість відображення (reflection) і/або заломлення (refraction), із точки будуються нові промені, напрямки яких точно визначаються законами відбиття і заломлення (рис. 1.1).

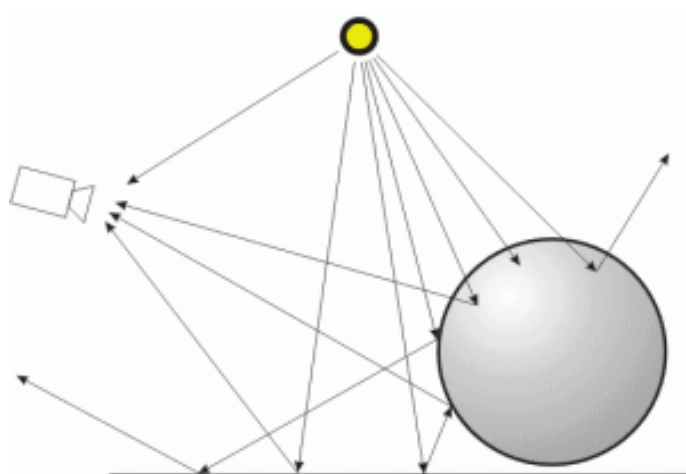


Рисунок 1.1 – Пряме трасування променів

Для побудованих у такий спосіб траєкторій нових променів може бути тільки три результати. Промінь або виходить за межі видимої з камери області сцени, у цьому випадку всі виконані для нього до цього моменту розрахунки освітленості відкидаються, оскільки вони не беруть участі у формуванні зображення; або промінь потрапляє в камеру, тоді розрахована освітленість формує колір відповідного пікселя зображення; або промінь зустрічає на своєму шляху новий об'єкт, тоді для нової точки перетину повторюється розрахунок освітленості і побудови променів відображення і заломлення в залежності від властивостей поверхні об'єкта. Побудова нових траєкторій і розрахунки ведуться доти, поки всі промені або потрапляють у камеру, або вийдуть за межі видимої області.

Зрозуміло, що за прямого трасування променів ми змушені виконувати розрахунки для променів, які не потраплять у камеру, тобто проробляти непотрібну роботу. За деякими оціночними даними частка таких «сліпих» променів доволі значна. Це головна, хоча і далеко не єдина, причина того, що метод прямого трасування променів вважається неефективним і на практиці не використовується.

1.3 Метод зворотного трасування променів

Другий метод – *зворотного трасування променів*, або *backward raytracing*. Він ґрунтується на побудові променів від спостерігача через площину екрану вглиб сцени, а не від джерела. Промені будуються по двох точках: перша точка, загальна для всіх променів – положення камери (спостерігача), друга точка визначається положенням пікселя на площині видового вікна (рис. 1.2).

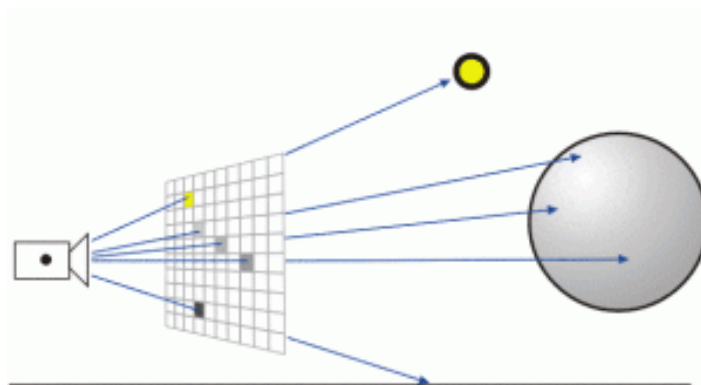


Рисунок 1.2 – Механізм зворотного трасування променів

Отже, напрямок кожного променя строго визначений, і кількість первинних променів також відома – це загальна кількість пікселів видового вікна. Наприклад, якщо видове вікно має 800 пікселів по ширині і 600 пікселів по висоті, то кількість променів складе $800 \times 600 = 480\,000$.

Кожен промінь уздовж заданого напрямку продовжується від спостерігача вглиб тривимірної сцени, для кожної траєкторії виконується перевірка на перетин з усіма об'єктами сцени і з відсіченими площинами. Якщо пересічень з об'єктами немає, а є перетин тільки з площиною відсікання, отже, промінь виходить за межі видимої частини сцени, а відповідному пікселю видового вікна присвоюється колір фону.

Якщо промінь перетинається з об'єктами сцени, то серед усіх об'єктів вибирається той, який найближче до спостерігача. У точці перетину з таким об'єктом будуються три нових, так званих вторинних променя (рис. 1.3).

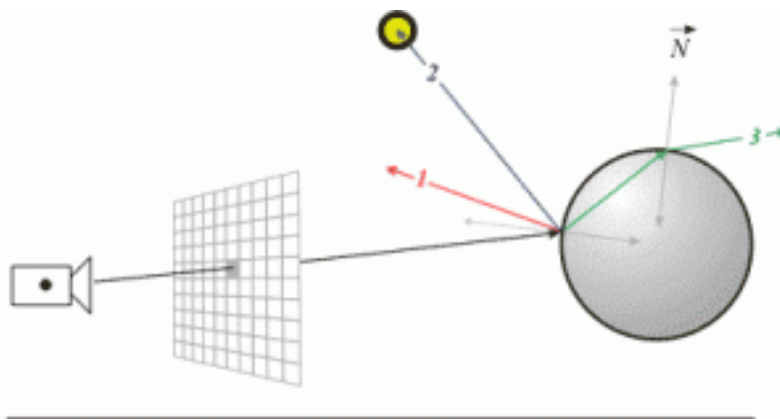


Рисунок 1.3 – Схема побудови вторинного променя

Один промінь будується в напрямку джерела світла. Якщо джерел кілька, будується кілька таких променів, по одному на кожне джерело. Основне призначення цього променя – визначити орієнтацію точки (звернена точка до джерела або від нього), наявність об'єктів, що закривають точку від джерела світла, і відстань до джерела світла. Якщо точка звернена в протилежний бік від джерела світла або закрита іншим непрозорим об'єктом, освітленість від такого джерела не розраховується, точка знаходиться в тіні. Якщо є затінювальний прозорий об'єкт, інтенсивність освітлення зменшується відповідно до ступеня прозорості. Якщо точка закрита від освітлення усіма джерелами сцени, їй присвоюється фоновий ambient колір. В іншому випадку точка освітлена, і інтенсивність, і колір освітлення розраховуються за допомогою локальної моделі освітленості як сума освітленостей від всіх джерел, для яких ця крапка не закрита іншими об'єктами. Цей тип променя отримав назву shadow ray (іноді його ще називають illumination ray) – тінювий промінь. Якщо поверхня об'єкта не є відбиваючою і непрозора, то тінювий промінь – єдиний тип променів, який будується. Траєкторія первинного променя обривається (закінчується) і подальші розрахунки не виконуються. Розрахований колір (освітленості або тіні) присвоюється тому пікселю видового вікна, через який проходить відповідний первинний промінь.

Другий промінь будується, якщо поверхня об'єкта має відбивальні властивості, він називається reflection ray, або промінь відображення. Напрямок відбитого променя визначається за схемою (рис. 1.4).

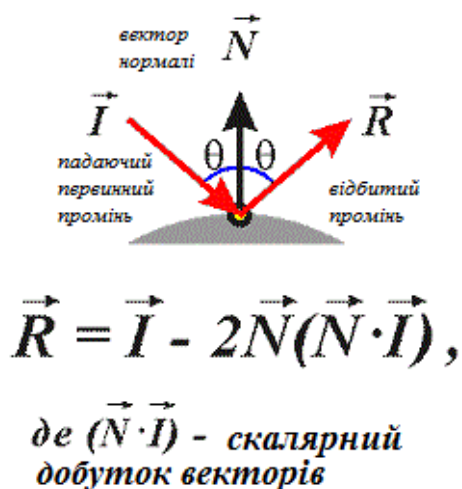


Рисунок 1.4 – Схема визначення напрямку відбитого променя

Для відбитого променя перевіряється можливість перетину з іншими об'єктами сцени. Якщо пересічень немає, то інтенсивність і колір відбитого променя дорівнює інтенсивності і кольору фону. Якщо перетин є, то в новій точці знову будується три типи променів – тіньові, відображення і заломлення.

Третій промінь будується, якщо поверхня об'єкта прозора. Вона має назву transparency ray, тобто промінь прозорості. Напрямок заломленого променя обчислюється за схемами, наведеними на рисунку 1.5, де n_1 і n_2 – коефіцієнти заломлення для першої середовища (у якій поширюється первинний промінь) і другого середовища прозорого об'єкта.

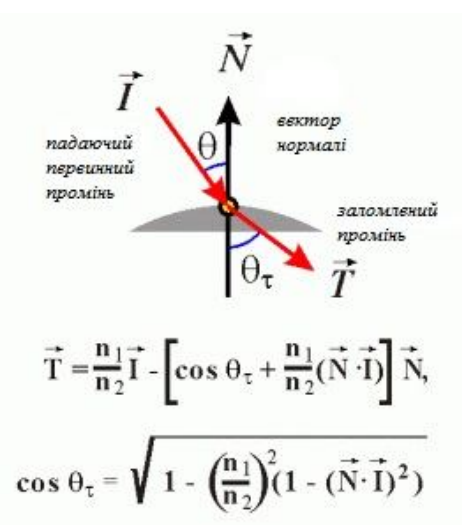


Рисунок 1.5 – Схема визначення напрямку заломленого променя

Так само, як і в попередньому випадку, перевіряється перетин новозбудованого променя з об'єктами, і, якщо вони є, у новій точці будуються три променя, якщо немає – використовується інтенсивність і колір фону. Отже, для кожного первинного променя можна побудувати деревоподібну структуру (рис. 1.6).

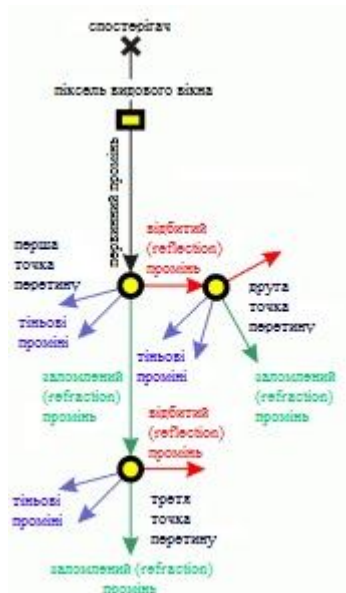


Рисунок 1.6 – Структура первинного променя

Якщо деревоподібна структура для цього променя побудована, то розрахунок освітленості можна виконати в такому порядку. Для кожної вітки дерева спускаємося уздовж деревоподібної структури до останнього перетину вторинного променя і поверхні (будемо далі називати їх вузлами). Оскільки це останній вузол у ланцюгу, вкладів від заломлень і відображень немає. Тому освітленість вузла обчислюється за допомогою локальної моделі освітлення з урахуванням видимості джерел світла для цього вузла. Потім обчислена освітленість передається вгору віткою до наступного найближчого вузла.

Таким чином, результати освітленості накопичуються під час підйому від самого останнього вузла через всі вузли вітки і для всіх віток одного пікселя видового вікна. Зображення можна вважати побудованим, коли кольори всіх пікселів видового вікна (усі відповідні дерева для кожного первинного променя) обчислені.

Наскільки глибоким може бути дерево вузлів? Як далеко простежуються вторинні промені? Природним завершенням трасування променів є вихід усіх випущених вторинних променів за межі видимої області та їхнє розсіювання на суто дифузних об'єктах. Тоді результат обчислень буде найбільш точним. Але якщо сцена складна, такий розрахунок буде дуже

повільним, а в деяких випадках і неможливим через обмеженість апаратних ресурсів. Внесок освітленості від кожного нового вторинного променя дуже швидко зменшується з тієї причини, що коефіцієнти властивостей відображення і заломлення матеріалів менше одиниці.

Отже, алгоритм зворотного трасування променів став основним способом розрахунків освітленості методом трасування променів. Метод трасування променів – перший метод розрахунку глобальної освітленості, що враховує взаємний вплив об'єктів сцени один на одного. Основні переваги рекурсивного методу зворотного трасування променів – розрахунок тіней, багаторазових відображень та заломлення значно підвищили ступінь реалістичності комп'ютерних рендерів.

Основні недоліки методу: неврахування вторинного освітлення від дифузно відбитого об'єктами світла, низька швидкість і висока обчислювальна вартість розрахунків, різкі кордони колірних переходів, aliasing – «зазубренність» ліній, дискретність пікселя первинних променів, що визначають колір – одного первинного променя недостатньо для коректного визначення кольору пікселя, що формує зображення.

1.4 Основні рівняння освітленості та візуалізації

Для того щоб побудувати точне висвітлення 3D – сцени, нам необхідно визначити, відбувається розподіл світла, а точніше світлової енергії в просторі.

Із квантової теорії світла відомо, що світло може розглядатися як потік дискретних квантів електромагнітного випромінювання – фотонів. Кожен фотон рухається зі швидкістю світла і несе в собі енергію, що дорівнює добутку постійної Планка і частоти фотона. Сумарна енергія фотонів і називається енергією світла.

Потоком випромінювання називається середня потужність випромінювання за одиницю часу. Для розрахунку освітлення поверхонь нас буде більше цікавити потік падаючого на цю поверхню випромінювання, віднесений до одиниці її площі. Ця величина називається енергетичною освітленістю.

Проте фотони рухаються всі в один бік. Стикаючись з різними перешкодами, вони розлітаються і рухаються по різних напрямках, тому для повного опису розподілу світла в 3D – сцені, нам буде потрібно якась функція, яка дозволила б визначити енергетичну освітленість для будь-якої точки сцени і для будь-якого напрямку. Отже, ми доходимо до поняття сили випромінювання.

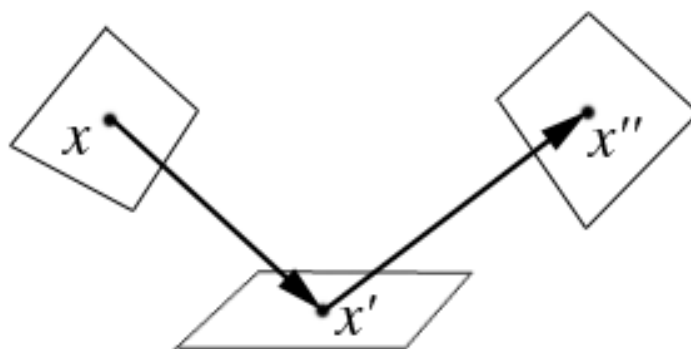
Силою випромінювання називається потік випромінювання джерела в цьому напрямку, віднесений до одиничного тілесного кута.

Важлива властивість сили випромінювання: для будь-яких двох взаємовидимих точок x і y (розділених вакуумом) сила випромінювання виходить із точки x у напрямку точки y буде такою самою, як і сила випромінювання приходить у точку y у напрямку з точки x .

Оскільки немає ніякого загасання сили випромінювання з відстанню, тому що сила випромінювання – це просто величина, віднесена до одиничного тілесного кута, а ось сам тілесний кут зменшується обернено пропорційно квадрату відстані, як і потік випромінювання.

Щоб кількісно описати процес відбиття падаючого світла поверхнею, вводять так звану функцію двонаправленого відображення (Bidirectional Reflection Distribution Function) скорочено BRDF. Функція BRDF показує, яка саме частка світлової енергії надійшла напрямку трасування.

Уявіть собі точку x' на поверхні. Звідки взялася світлова енергія, яка випромінюється цією точкою в напрямку іншої точки x'' ? А це всього лише сума відображеної енергії і енергії, що випромінює точка самостійно (рис. 1.7).



$$L(x' \rightarrow x'') = E(x' \rightarrow x'') + \int_x f_r(x, x', x'') L(x \rightarrow x') V(x, x') G(x, x') dx$$

Рисунок 1.7 – Схема перенесення світлової енергії

Згідно з цією схемою, невідома функція L знаходиться як у правій, так і в лівій частині рівняння, до того ж у правій частині під інтегралом. Рівняння такого типу називаються рівняннями Фредхолма другого типу, а це значить, що це рівняння не має аналітичного рішення, тому нам не залишається нічого, крім як спробувати знайти відповідну апроксимацію, тобто наближене рішення.

Отже методи глобального освітлення, що були розглянуті вище, лежать в основі програм комп'ютерного моделювання освітлювальних уста-

новок, а їхні особливості необхідно брати до уваги під час користування існуючими програмами та розроблення нових.

Алгоритм розрахунку глобальної освітленості Radiosity (перенесення випромінювання) також базується на техніці зворотного трасування променів. Однак на відміну від алгоритму Light Tracer (Трасувальник світла), він використовує інший метод вибору точок сцени, з яких випускаються пучки відбитих променів. Під час вибору таких точок алгоритм відштовхується не від плоскої проекції сцени, а безпосередньо від самих об'єктів. Джерелами відбитих променів вважаються трикутні грані, з яких складаються сітки геометричних моделей об'єктів сцени. У зв'язку з цим, зазвичай, потрібно проводити додаткове розбиття сіток геометричних моделей, якщо їхні межі занадто великі, а кількість граней маленька. Подібне розбиття може виконувати сам алгоритм перенесення випромінювання або його можна зробити за допомогою модифікатора Subdivide (Розбиття). У результаті розбиття формується набір елементів (elements) поверхонь, кожен із яких має форму, максимально наближену до форми рівнобедреного трикутника.

Принципова відмінність алгоритму перенесення випромінювання від алгоритму трасувальника світла полягає в тому, що замість розрахунків кольору кожного пікселя зображення він проводить розрахунок освітленості всіх поверхонь об'єктів сцени при заданому розташуванні джерел світла. У процесі розрахунків освітленість кожного елемента розраховується як сума освітленості прямими променями від джерел світла і променями, відбитими від всіх інших елементів геометричних моделей сцени. Завдяки багатомірним віддзеркаленням відбувається як би перенесення світлової енергії від елемента до елемента, від об'єкта до об'єкта – перенесення випромінювання. Розраховані значення освітленості зберігаються в тому самі файлі, що і геометрична модель сцени як властивість кожного геометричного елемента поверхні.

Розрахунок освітленості займає досить багато часу. Однак результати таких розрахунків виявляються незалежними від кута, під яким ми розглядаємо сцену. Ні розмір елементів поверхонь, ні кути падіння на них прямих світлових променів від джерел світла і променів, відбитих від інших елементів, не залежать від напряму спостереження. Отже, один раз виконавши розрахунок глобальної освітленості сцени методом перенесення випромінювання, ми можемо без особливого клопоту швидко здійснювати візуалізацію безлічі зображень, вільно переміщаючи камеру в межах цієї сцени. Це дозволяє економити величезну кількість часу. Необхідність у повторному розрахунку глобальної освітленості виникає тільки після

зміни взаємних положень об'єктів і освітлювачів, заміни матеріалів, зміни сили світла освітлювачів або її просторового розподілу.

Перерахуємо деякі особливості алгоритму Radiosity (Перенесення випромінювання):

- складніший у використанні, вимагає спеціальної підготовки геометричних моделей об'єктів тривимірних сцен, а також ретельного налаштування властивостей матеріалів;

- дозволяє розраховувати глобальну освітленість сцени із застосуванням джерел світла будь-якого типу як стандартних, так і фотометричних, до того ж використання останніх забезпечує передбачуваність і фізичну коректність результатів;

- кращий для використання в завданнях, де важливий реальний аналіз освітленості, таких як архітектурне моделювання або конструювання інтер'єрів. Найбільше підходить для використання під час розрахунку освітленості сцен усередині приміщення;

- результат розрахунків глобальної освітленості не залежить від ракурсу зйомки, так що після однократного розрахунку, якщо склад об'єктів сцени і освітлювачів не змінювався, можна виконувати візуалізацію зображення сцени з будь-якого ракурсу без додаткових витрат часу;

- результати розрахунків глобальної освітленості видно у вікнах проєкцій.

В основі апроксимації основного рівняння візуалізації методом Radiosity лежить припущення про те, що всі поверхні сцени є ідеальними дифузними поверхнями, тобто поверхнями, які розсіюють падаюче світло в усі боки з однаковою інтенсивністю (закон Ламберта).

Після прийняття такого спрощення ми можемо винести функцію BRDF з-під знака інтеграла, тому що вона буде постійною.

У результаті маємо основне рівняння Radiosity (1.1):

$$B(x) = \int_{\omega} L(x \rightarrow x') \cos \theta d\omega \quad (1.1)$$

де $B(x)$ – це енергія, що розсіюється елементом (1.2):

$$B(x) = \int_{\omega} L(x \rightarrow x') \cos \theta d\omega \quad (1.2)$$

Для того щоб вирішити рівняння Radiosity, яке, до речі, не має аналітичного рішення, ми повинні розбити всі поверхні нашої сцени на дискретні елементи кінцевої величини так, щоб це дозволило нам перейти від інтеграла до суми. Зрозуміло, що чим менше будуть розміри цих елементів,

тим точніше буде прийнята апроксимація. Ми вважаємо також, що світло передавальні характеристики (відображальна і розсіювальна здатність) цих елементів однакові.

Після розбиття поверхонь 3D – сцени на дискретні елементи, ми в один прохід за стандартними алгоритмами розраховуємо первинну освітленість поверхонь, тобто розглядаємо світлову енергію, яка дійде до того чи іншого елемента поверхні від усіх джерел світла. Після цього етапу ми будемо точно знати, яка енергія джерел світла доводиться на кожную точку лайтмепа, тобто вже зараз стане зрозуміло, які точки лежать у тіні, а які на світлі.

Потім, власне, і починається саме Radiosity: уявивши, що кожен елемент поверхні є самостійним джерелом світлової енергії, яку він отримав від первинних джерел світла, ми розраховуємо вторинну освітленість, тобто враховуємо вплив одних елементів на інші. Кожен елемент, отримавши якусь кількість світлової енергії, частину цієї енергії поглинає, а іншу частину розсіює назад у простір, отже, прохід за проходом ми розраховуємо розподіл світлової енергії між поверхнями сцени доти, поки не встановиться певна рівновага.

Звісно, що через накладені обмеження, метод Radiosity підходить тільки для розрахунку дифузних відбиттів світла між поверхнями (що, до речі, не під силу методу трасування променів) і не дозволяє передати дзеркальні відображення і елементи прозорості. Тому зазвичай у професійних системах візуалізації використовуються комбіновані алгоритми, що поєднують трасування променів і Radiosity. *Photon Mapping* – це алгоритм глобального освітлення вирішального рівняння рендеринга, розроблений у 1996 Henrik Wann Jensen [1]. Відповідно до першого кроку алгоритму, промені від джерел світла і промені від камери трасуються незалежно до моменту задоволення деякого критерію завершення, потім у другому кроці вони об'єднуються для розрахунку величин яскравості (світності). Це робиться для того, щоб реалістично моделювати світлове взаємодія різних об'єктів. Зокрема, це дозволяє моделювати рефракцію світла під час проходження крізь прозорі об'єкти, такі як скло або вода, перехресне взаємне висвітлення дифузійної складової, відбитої освітленими об'єктами, і деякі ефекти, зумовлені розподіленою матерією (з дрібних частинок), такі як дим або водяна пара.

Розраховані ефекти рефракції світла, що пройшло через прозоре середовище, названі каустиком. Каустик – це рисунок світла, сфокусованого на деякій поверхні, після того як світло пройшло реальним шляхом світлового променя, переломленого проміжною поверхнею. Наприклад, як промені світла, які пройшли через келих із вином, що стоїть на столі, і рідина в ньому, які переломлені і сфокусовані на столі, на якому стоїть келих. Вино також змінює характерний рисунок і колір світла.

У методі Photon mapping світлові пакети, названі фотонами, випускаються в сцену джерелами світла. Коли фотон перетинається з поверхнею, то його точка перетину, напрямок і енергія зберігаються в буфері, названому фотонною картою (Photon map). Після зіткнення фотона з поверхнею, його новий напрям визначається, використовуючи функцію BRDF (bidirectional reflectance distribution function) для певної поверхні. Існує два методи визначення моменту, коли фотон перестане відскакувати від поверхні. Перший заснований на зменшенні енергії фотона при кожному відображенні. Другий метод використовує техніку методу Монте-Карло (Monte Carlo method). У цьому методі кожен відскок фотона має кінцеву ймовірність продовження відскоків, яка зменшується з кожним відскоком.

Використання фотонної карти означає її використання під час рендерингу для оцінки накопиченої щільності фотонів, як оцінки для випромінюваності (світності) ділянок поверхні об'єктів.

Щоб уникнути випускання зайвої кількості фотонів, їхній початковий напрямок часто обмежується. Замість простого випускання фотонів у випадкових напрямках, вони випускаються в напрямку відомих об'єктів, яке розраховується маніпулятором фотонів і дозволяє отримати як фокусування, так і розсіювання світлового пучка (поток). Є багато інших удосконалень, які можна зробити в алгоритмі: наприклад, поліпшити вибір кількості випускних фотонів, і де і в якій патерн надіслати їх.

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

2.1 Програми світлотехнічного розрахунку. Алгоритм роботи в програмах

Сучасні світлотехнічні розрахунки вже неможливо уявити без використання спеціалізованого програмного забезпечення, хоча ще кілька років тому інженерам-світлотехнікам доводилося вести довгу і кропітку роботу з оптимізації освітлення навіть невеликих об'єктів, використовуючи масу довідкової літератури, різні графіки, таблиці, діаграми і т. д. Будь-яка заміна потужності або переміщення світлового приладу призводили до необхідності перерахунку практично всього проекту. Складні геометричні та технічні обчислення посилювали вплив «людського чинника», зростала ймовірність помилки (рис. 2.1).

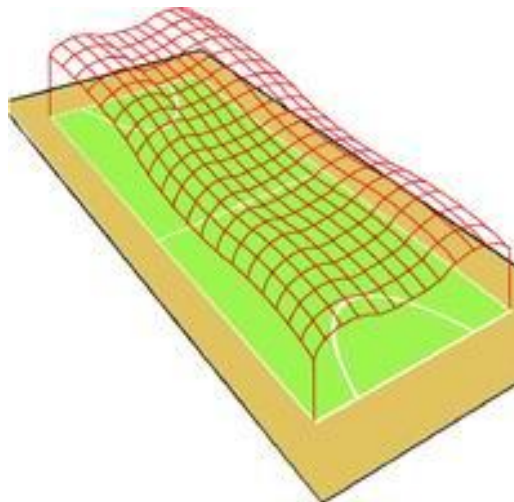


Рисунок 2.1 – Розрахунок освітленості за допомогою програмного забезпечення

Із широким розповсюдженням обчислювальної техніки з'явилася можливість спростити процедуру світлотехнічних розрахунків. Декілька іноземних компаній, які займаються розробленням програмного забезпечення, випустили свої версії програм проектування систем освітлення. Фактично, основна робота з розрахунку освітлення все одно покладається на людину, але багато початкових даних (табличні коефіцієнти, криві сили світла приладів, розрахункові формули, технічні параметри джерел світла і т. п.) вже закладено в програмі.

Завдання розрахунку освітлення зводиться до визначення необхідної кількості світлових приладів для створення нормованого значення освітленості на спортивних об'єктах. Водночас розроблений проект освітлення повинен забезпечувати мінімальні витрати на споруду й експлуатацію освітлювальної установки, а також відповідати нормативним документам тієї країни, для якої проектується система освітлення.

Під час проектування доцільною є така послідовність дій:

1. Визначення параметрів об'єкта, що підлягає освітленню.
2. Вибір системи освітлення.
3. Установка нормованого значення освітленості.
4. Вибір методу розрахунку освітленості.

Під час світлотехнічного проектування переважно застосовують два методи розрахунків: метод коефіцієнта використання і точковий метод.

Метод коефіцієнта використання призначений для розрахунку середньої освітленості підлоги (стін) усередині приміщення з урахуванням багаторазового відбиття світла (для системи загального рівномірного освітлення або розрахунку необхідної кількості світильників в освітлювальній установці за заданою величиною освітленості). Цей метод застосовують для розрахунку загального рівномірного освітлення під час проектування освітлювальних установок для офісних, службових та інших робочих приміщень із відносно невеликою висотою і площею. На практиці значення розрахункових коефіцієнтів беруть із таблиць, що пов'язують геометричні розміри приміщення, відбивальні властивості його поверхонь і криві сили світла використаних світильників.

Точковий метод призначений для розрахунку освітленості в кожній точці заданої площини і враховує вплив на неї світлового потоку від кожного із світильників, розташованих у довільному порядку. У комп'ютерних програмах цим методом розраховують як пряму, так і відбиту складові освітленості. Цей метод використовується, коли необхідно одержати багатоваріантні розрахунки освітленості та сумістити їх з оцінкою інших світлотехнічних і економічних параметрів освітлювальної установки. Складність точкового методу полягала у відсутності можливості подання кривих сил світла приладів аналітичними виразами, а отже, вживанні під час розрахунків великої кількості таблиць, графіків і допоміжних матеріалів. Наразі комп'ютерна техніка дозволяє всюди застосовувати цей метод у практиці світлотехнічних розрахунків.

Найбільш відомі декілька світлотехнічних розрахункових програм: DIALux, Relux Professional, Lightscape, Calculux.

Найпопулярніша програма DIALux створена за участю багатьох європейських світлотехнічних фірм (серед яких OSRAM, Philips, THORN, Trilux та ін.). Кожна з фірм – творців DIALux представляє програму з даними власного устаткування, проте програма дозволяє створювати і нову базу даних світильників, що найчастіше використовуються. Формат даних, що вводяться, – CIBSE/TM14, IES, LDT. Усе це спрощує роботу з програмою і економить час. Світильники можуть бути об'єднані в групи, проте в цьому випадку стає неможливо працювати з окремо взятим світильником. В останній версії DIALux 4.9 представлена широка база текстур, компонентів приміщень і меблів, можливість розширення якої також передбачена.

У програмі DIALux результати розрахунків можна подати в будь-якій зручній формі – як у вигляді плоских двовірних видів, так і в тривимірній проекції. Метод візуалізації RayTracing, що використовується в програмі, робить 3D-модель наочною. Проте розрахунок освітленості у вертикальній площині дещо ускладнює застосування програми для спортивних споруд. До того ж DIALux «з'їдає» досить багато ресурсів комп'ютера, у разі створення проекту для спортивної арени з великою кількістю прожекторів розрахунок займає тривалий час.

Проте зручний інтерфейс, гнучкі настройки виведення результатів на друкування і можливість введення даних (світильників, меблів і текстур) роблять цю програму найзручнішою для розрахунку освітленості інтер'єрів.

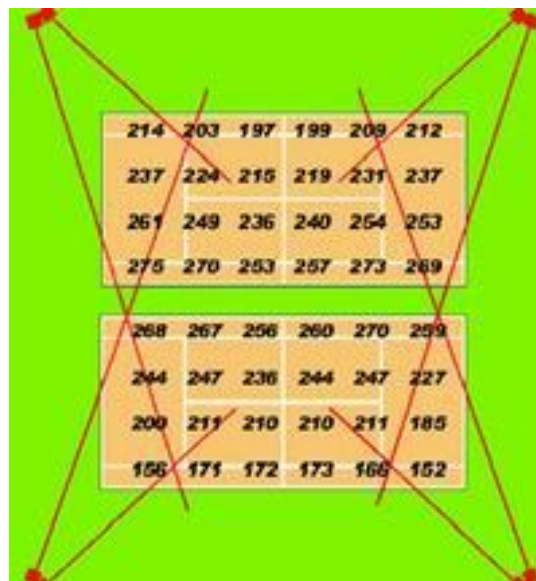
Програма Relux Professional від компанії Relux Informatik AG – потужний інструмент розрахунку освітленості для роботи з тривимірними об'єктами. Вона містить велику базу даних, що містить фотометричні дані світильників сорока дев'яти виробників. Програма надає можливість широкого вибору зображень і текстур, що дозволяє подати зображення об'єкта в максимально реалістичному вигляді.

У звіті виводяться на друк усі необхідні результати розрахунків і тривимірне зображення приміщення (в OpenGL). Передбачені засоби для збереження в базі даних будь-якого бажаного виду об'єкта освітлення разом із розрахунковими даними.

У додатку до основної програми можуть використовуватися модулі Relux Vision і ReluxCAD. Relux Vision надає розширені можливості візуа-

лізації (RayTracer), а також можливість розраховувати комбіноване освітлення у приміщенні.

ReluxCAD – програма, що дозволяє організувати роботу спільно з програмою AutoCAD. Створені в AutoCAD креслення приміщень і майданчиків напряду вводяться в Relux Professional, а результати світлотехнічних розрахунків для конкретної споруди, одержані в ReluxCAD, можна передати в AutoCAD. Relux дозволяє розраховувати коефіцієнт дискомфорту UGR як для приміщення, так і для конкретної точки спостереження. Крім того, можна вивести таблицю UGR від кожного світильника (рис. 2.2).



214	203	197	199	209	212
237	224	215	219	231	237
261	249	236	240	254	253
275	270	263	257	273	269
268	267	256	260	270	259
244	247	236	244	247	227
200	211	210	210	211	185
156	171	172	173	166	152

Рисунок 2.2 – Приклад розрахунку в програмі ReluxCAD

Істотним недоліком цієї програми є відсутність зручних засобів роботи з фотометричними даними. Для кожного проекту необхідно створювати базу даних застосованих світильників, що ускладнює і уповільнює роботу з Relux Professional.

Програма Calculux фірми Philips існує в трьох модифікаціях (для розрахунку відкритих майданчиків, приміщень і доріг). Хоча основним форматом даних Calculux є Philips Phillum, програма дозволяє вводити й інші фотометричні формати (CIBSE/TM14, IES, EULUMDAT і LTLI). Проте потрібно мати на увазі, що їхнє використання в програмі відбувається не завжди коректно (як, наприклад, із форматом IES). Calculux дає можливість розраховувати освітленість на прямокутних поверхнях у будь-якій площині, що визначається користувачем. У програмі можна самостійно задавати кількість розрахункових точок, створювати групи світильників та

орієнтувати як окремий світильник, так і цілу їхню групу. У програмі задана велика кількість стандартних спортивних майданчиків, що дуже зручно для розрахунку як закритих, так і відкритих споруд. Є можливість вибору мови, якою буде надруковано звіт.

До недоліків програми потрібно зарахувати відсутність якісного тривимірного подання результатів, проте це частково компенсується високою швидкістю розрахунку.

Спортивні й розважальні споруди вимагають значних вкладень у будівництво й експлуатацію. Проте інвестиції у спортивні об'єкти окупляться тільки в тому випадку, якщо останні будуть комфортні і для глядачів, і для спортсменів. Правильно спроектована і змонтована освітлювальна установка – одна з головних умов привабливості об'єктів видовищного призначення.

Для правильного вибору тієї або іншої розрахункової програми проектувальнику необхідно чітко уявляти поставлені перед ним вимоги щодо проектування ОУ і спробувати використати програму найбільш раціонально. Тому нами була розроблена методика проектування ОУ спортивних споруд у світлотехнічних програмах. Варто зауважити, що світлотехнічний проект зазвичай займає певне місце в проекті загалом: чи то проект будівництва, проект благоустрою або реконструкції. У зв'язку з цим вихідними даними для початку світлотехнічного будувannya є креслення, фотографії, плани й інша електронна/цифрова інформація, що дає вичерпну інформацію про освітлюваний об'єкт.

Ми рекомендуємо під час проведення світлотехнічного розрахунку освітлювальних установок користуватися програмами DIALux, Relux або Calculux. Ці програми відповідають усім зазначеним вище вимогам і містять всі засоби для проведення якісного світлотехнічного розрахунку.

Далі, виходячи з рекомендованих рівнів освітленості на робочих поверхнях і умов освітленості, обираємо ту або іншу схему розстановки світлових приладів.

Після проведення попереднього розрахунку виводимо результати освітленості. Аналізуючи отримані дані, робимо висновки про правильність вибору світлового обладнання, його орієнтації, місце розташування або вносимо зміни і повторюємо розрахунок. Саме ця частина проектування освітлювальної установки за допомогою світлотехнічних програм значно відрізняється від традиційного методу розрахунку ОУ, де через великі

трудовитрати складно якісно виконати декілька варіантів розрахунку показників освітленості.

Які ж якісні показники освітленості ми можемо розрахувати за допомогою світлотехнічних програм?

Звісно, світлотехнічні програми дають можливість отримати більшість традиційних якісних показників, а саме:

- вертикальна освітленість;
- циліндрична освітленість;
- сферична освітленість;
- показник дискомфорту/UGR.

Проте світлотехнічні програми також пропонують проектувальникам й інші оцінки якості освітлення. Однією з таких характеристик є розподіл освітленості або яскравості по поверхні сцени. Розподіл подається як у вигляді ізолюкс, так і у вигляді кольорових градацій з прив'язкою до конкретних значень освітленості або яскравості. Ці якісні характеристики дуже важливі для правильної оцінки розподілу освітленості на робочих поверхнях. Завдяки тому, що в їхній побудові беруть участь сотні розрахункових точок, вони у повному обсязі відображають світлову картину розподілу світла в сцені в наслідок багаторазових відбиттів і затемнень.

Як інженерів-світлотехніків нас здебільшого цікавлять числові і кольорові подання світлотехнічних величин у модельованій сцені. Застосовуючи комп'ютерні програми, можна створити модель універсального залу очима віртуального гравця у псевдокольорах, де червоним кольором позначені області з підвищеним значенням освітленості / яскравості, а синім кольором, навпаки, області з недостатнім значенням цих величин. Варто зауважити, що генерація такого типу зображень займає декілька хвилин, а проектувальник отримує повну світлотехнічну інформацію про освітлювальну установку.

Іншим варіантом отримання якісних показників освітлення може бути введення в сцену так званих **фіктивних поверхонь**. **Фіктивні поверхні** – це поверхні, що беруть участь у перерозподілі випромінювання у сцені, мають коефіцієнт відбиття 0 %, пропускання 100 % і не беруть участі у візуалізації, водночас на них розраховується значення освітленості. Установлення таких поверхонь у повздовжньому і поперековому розрізах сцени з певним кроком дозволить отримати чисельно або у псевдокольорах значення освітленості в освітлюваному просторі. У першому наближенні сумарний розподіл на таких поверхнях надає тіло освітленості адекватне

тілу яскравості (при дифузних поверхнях), завдяки якому можна дати оцінку наповнення світлом приміщення, виконати прогноз розподілу тіней, виявити слабко освітлені або занадто освітлені області в просторі. Іншими словами, таке тіло освітленості/яскравості надає проектувальнику повну інформацію про освітлювальну установку, що розробляється.

Отже, сформована схема основних етапів (кроків) сучасного моделювання освітлення за допомогою світлотехнічних програм, у якому самі програми виступають лише розрахунковими інструментами.

2.2 Проектування освітлювальної установки в Calculux

Calculux надає проектувальнику вибір із 19 стандартних відкритих просторів для освітлення: 17 з яких є спортивними майданчиками різних видів і дві одно- і двосмуговими проїжджими частинами. Разом із тим є можливість створення відкритого простору встановлюваних користувачем довільних геометричних розмірів (рис. 2.3).

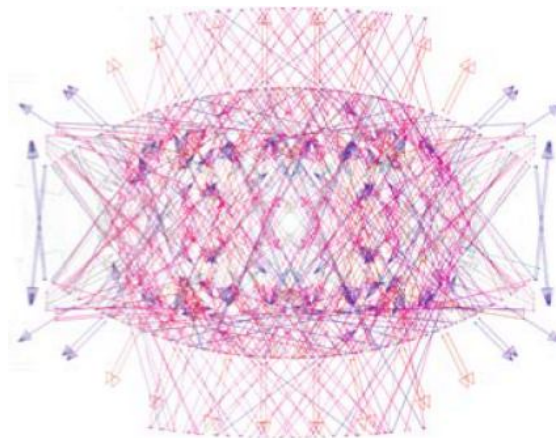


Рисунок 2.3 – Хід світлових променів і візуалізація стадіону

Алгоритм проектування ОУ відкритого простору розглянемо на прикладі освітлення футбольного поля:

1. Після запуску програми необхідно створити новий проект, для чого потрібно скористатися меню **Файл**, вибравши з нього пункт **Новий проект** або натискувати на кнопку **Новий** панелі редагування.

2. Основні команди побудови проекту містяться в пункті меню **Данные**. На другому етапі з цього пункту можна вибрати підпункт **Настройки проекта**. У вікні, що з'явилося, з 9 вкладками проектувальник може змінювати налаштування:

– **Общие** (встановити коефіцієнт запасу, збереження результатів розрахунку);

– **Двумерный вид** (увімкнути/вимкнути різні параметри для двовимірної проекції);

– **Трёхмерный вид** (увімкнути/вимкнути різні параметри для тривимірної проекції);

– **Симметрия** (тут можна встановлювати вид симетрії: відносно осі X, відносно осі Y, відносно двох осей, що дуже зручно при розміщенні ОП).

Ця вкладка також дозволяє встановити положення початку координат:

– **Прицеливание** (опція використовується для розміщення світильників у просторі. Програмою пропонується увімкнути один із трьох видів націлювання: паралельно площині XY, паралельно площині XZ і паралельно площині YZ).

– **Двумерный масштаб** (опція настройки масштабу відображення побудов для двовимірної проекції).

– **Трёхмерный масштаб** (те саме для тривимірної проекції).

– **Импорт AutoCad** (параметри імпорту зображення і £ програми AutoCad, тут можна задати одиниці вимірювання об'єкта, що імпортується).

– **Экспорт AutoCad** (параметри експорту даних в AutoCad, тут можна вибрати версію AutoCad, у яку будуть експортовані дані, а також задати розширення файлу).

3. Із пункту меню **Данные** потрібно вибрати підпункт **Выбор поля**. У невеликому за розмірами вікні, що з'явилося, необхідно натиснути кнопку **Добавить**, що дозволить розкрити список пропонованих програмою стандартних полів. Із цього списку виберемо футбольне поле.

На екрані з'явиться нове вікно із заповненими за умовчанням рядками, значення яких можна змінювати. Змінювати можна: назву поля, розміри поля, положення координати центру, поворот поля. У правій частині вікна відображається двомірний план вибраного поля (вигляд зверху). Зміни, які вносяться у вказані рядки, викликають зміни двовимірного плану.

Після натиснення кнопки **OK** система повертається до невеликого вікна, у яке вже додано назву вибраного поля. Виділивши цю назву (однократним натисненням на ньому лівої кнопки миші), за необхідності можна використовувати решту кнопок, що знаходяться під кнопкою **Добавить**.

Це кнопки **Изменить** – повернення до завдання параметрів вибраного поля. **Дублировать** – створення поля співпадаючого за параметрами із

заданим раніше, яке буде розташоване з останнім на одному кресленні.
Удалить – видаляє створене поле.

4. На цьому етапі необхідно вибрати тип світильника або світильників, які будуть використані в проєкті. Вікно вибору світильників викликається з підпункту меню **Выбор светильников** меню **Данные**.

Вікно є подібним до вікна, розглянутого за допомогою декартової системи; або Поворот – Нахил 90 – Нахил 0 – при націлюванні за допомогою полярної системи; Z-вісь; X-вісь; Y-вісь.

Для додавання інформації про потрібний світильник необхідно вибрати його за допомогою миші у віконці зверху, після чого натиснути кнопку **Новый** внизу. У таблиці додається перший запис, деякі елементи якого можна редагувати. В елементі **Тип** повинна знаходитися заголовна буква латинського алфавіту, відповідна букві напроти назви світильника з верхнього віконця.

У відповідних елементах таблиці необхідно задати інформацію про положення світильника в просторі, при цьому можна використовувати нахил світильника відносно трьох просторових осей, скориставшись націлюванням за допомогою RBA.

Розташування світильника в просторі відбувається після натиснення кнопки **Вставить** в нижній частині вікна. Для перегляду картини положення світильника в просторі, не виходячи з вікна **Индивидуальные светильники**, можна здійснити перемикання на другу вкладку **Вид**. У вкладці передбачені можливості переходу між різними дво- і тривимірними видами проєкцій. Вказані можливості полегшують роботу над розміщенням світильників.

Під час вибору підпункту меню **Группа светильников** на екрані з'являється вже знайоме нам вікно з кнопкою **Добавить**, натискаючи на яку можна викликати випадаюче меню, що складається з п'яти пунктів:

1. **Блок** – додавання світильників блоками.
2. **Полярная** – додавання світильників, використовуючи полярну систему координат.
3. **Линия** – додавання світильників лініями.
4. **Точка** – розміщення світильників, за допомогою вказівки координати точки положення його в просторі.
5. **Свободная** – відповідає індивідуальному додаванню світильників.

2.3 Основи моделювання освітлення в програмі Relux Professional

Загальні відомості

Програма Relux Professional є частково платним програмним продуктом швейцарської компанії Relux Informatic AG. Зокрема, до складу програмного пакету основної програми Relux Professional входять ще дві підпрограми (PlugIn). Relux Vision – підпрограма для візуалізації (трасування проміння) проектів, виконаних у Relux Professional і Relux Cad – підпрограма для полегшення спільної роботи Relux Professional і Autodesk AutoCad, обидва цих PlugIn-a є платними (у режимі тесту пропонується 30 днів безкоштовної роботи). У програмі є можливість вибрати одну з сімнадцяти мов інтерфейсу програми і вихідних даних, присутня і російська мова.

Як і в DIALux, в основі інтерфейсу лежить розділення екрану на декілька функціональних частин:

- у верхній частині – *Главное меню* і *Линейка инструментов* швидкого доступу до команд;
- зліва *Менеджер проекта* – деревоподібний список всіх елементів проекту із закладками до баз даних елементів проекту: меблі, текстури, світильники, результати розрахунків;
- у центрі активне вікно, аналогічне CAD – вікно з DIALux, що є так само вікном графічного редактора векторних двовимірних і тривимірних зображень; різні види сцени встановлюються клавішею на *Линейка инструментов*.

Запуск програми Relux Professional 2007

1. Подвійне клацання для відкриття групи програм RELUX 2007 із меню *Пуск* -> *Программы* і подвійне клацання для запуску програми RELUX Professional 2007 по її значку.

2. При завантаженні програми Ви побачите панель запрошення в програму.

3. Після закінчення завантаження в програмі RELUX автоматично відкривається панель *Ассистент проектов освещения*, у якому є можливість вибрати декілька варіантів проектів освітлення. У верхній частині знаходиться експрес-режим (*Express*) режим освітлення внутрішнього приміщення, у нижній частині в заголовку Проекти є можливість вибрати один із трьох проектів освітлення: *Внутреннее помещение*, *Улица* або *Дорога*. Виберіть *Внутреннее помещение*.

4. Відкриється вікно *Ввести проектные данные*, у якому можна ввести інформацію про проект освітлення. Наприклад, у полі *Объект* вводим назву TEST_ROOM. Натискаємо на *ОК*.

5. Відкриється вікно із оброблення параметрів приміщення. У графі *Название помещения* вводим Office_Room. Встановлюємо розміри приміщення: *Длина* (Стіна 1): 6.0, *Ширина* (Стіна 2): 5.0, *Высота*: 3.0. Решту параметрів залишаємо за умовчанням і натискаємо *ОК*.

Створення геометрії приміщення

В активному вікні з'явився план створеного нами приміщення. Для того щоб подивитися його тривимірний вигляд, можна скористатися *Линейка инструментов*, клацнувши на *3D-вид*, або у верхній частині активного вікна вибрати *Окно -> 3D-помещение*. Тепер відредагуємо геометрію приміщення.

1. Для зручності відтворення геометрії приміщення скористаємося опцією *Импорт: Файл -> Импортировать -> Изображение фона* (прописуємо шлях, файл Test_room.wmf). Для установки відповідного масштабу виконуємо наступні дії: у верхній частині активного вікна вибираємо *Изображение -> Изображение заднего плана -> Масштаб установить*. Встановлюємо курсор у лівий верхній кут плану і невідривно ведемо до лівого нижнього кута приміщення. Відпускаємо кнопку миші та у вікні, що відкрилося, *Масштабировать изображение фона* встановлюємо довжину 5.3 м, натискаємо *ОК*.

2. Тепер встановимо нульову точку. Знову звертаємося до вкладки *Изображение -> Изображение заднего плана -> Нулевую точку установить*. Клацанням миші вибираємо нульову точку, у нашому випадку – лівий нижній кут плану приміщення.

3. Для роботи з редагуванням геометрії приміщенні іноді вигідно користуватися прив'язками. Налаштування прив'язок до сітки можна встановити тут: *Изображение -> Первичная ширина растра*. У вікні *Характеристики*, що з'явилося, знімаємо галочку з *Активировать приемные решетки*. Якщо Вам зручніше працювати з сіткою, то не забувайте, що всі об'єкти будуть прив'язані до її вузлів, але разом з тим ви можете самі встановити зручну для вас величину сітки. Натискаємо *ОК*.

4. Щоб змінити геометрію приміщення необхідно змінити тип приміщення з *Прямоугольное* в *Многогранник*, для цього в активному вікні клацаємо праву кнопку миші. У меню, що з'явилося, вибираємо *Преобразовать в многоугольное помещение*.

5. Тепер додаємо нашому приміщенню необхідну геометрію. Спершу нам необхідно додати нові точки: наводимо курсор миші на контур приміщення, правою кнопкою миші у випадному списку вибираємо **Угловую точку ввести**. Потім клацанням миші вибираємо місце вставки точки на контурі – якщо все правильно, на ньому з'явиться чорна квадратна точка. За допомогою миші переміщаємо точку в необхідне місце. У нашому випадку це дві точки з правого боку приміщення знизу і зверху.

6. Геометрія готова.

Порада: Не забувайте зберігати проект на кожній стадії роботи. Наприклад, збереження у файл (Relux_test.rdf).

Матеріали і текстури

Тепер, коли геометрія приміщення готова, саме час привласнити його поверхням текстури і матеріали для правильного розрахунку розподілу світла і візуального сприйняття.

1. У **Менеджер проекта** вибираємо закладку **Проект** -> **Пол**. Перед нами з'явиться вікно **Характеристики**, тут ми можемо поміняти назву виділеного фрагмента приміщення графа Позначення, привласнити матеріал і текстуру внутрішній або зовнішній стороні виділеного фрагмента приміщення. Натискуємо на кнопку **Материал /Текстура в области / Внутренняя сторона**.

2. У вікні, що відкрилося, **Материалы** обробити нам пропонується вибрати матеріал із стандартного набору. У правій стороні вікна **Материалы** обробити ми можемо спостерігати фотометричні властивості вибраного матеріалу: **Color** – колір матеріалу, зміна якого веде до зміни **Rho** – середнього коефіцієнта відбиття, **Surfacefinish** – відбивальні властивості матеріалу (впливає тільки на процес формування фотореалістичного зображення в результаті трасування проміння).

3. Якщо нас не влаштовує список стандартних матеріалів, то натискуємо на **Add**, відкриється вікно **Select materiall**, у якому можна вибрати текстури і матеріали у такий спосіб:

Basic materials – список стандартних матеріалів, де список поділяється на дві частини. Перша частина **Relux standart materials** – створення стандартних дифузних матеріалів без текстур (Diffus) і (Bild) – створення дифузних матеріалів з можливістю вибору текстури з файлу *.jpg, *.bmp, *.gif. Друга частина **Vision materials** – створення склад-

них фотометричних матеріалів під трасування проміння: метал, просте скло, складне скло з індексом заломлення, дзеркало, напівпрозорий матеріал.

Texture library – детальна бібліотека готових текстур і матеріалів (дифузні).

Vision materials – бібліотека готових текстур і матеріалів із фотометричними властивостями, призначених для подальшого трасування проміння.

Інші дві закладки вікна **Favorites** і **Last time used** – бібліотеки, у яких зберігаються вибрані матеріали/текстури і ті, які ви використовували останнім часом.

4. Вибираємо пункт **Vision Materials** -> **Materialarten**, вибираємо **Holz** -> **Parkette** -> **Buche Parkette**. Натискаємо **OK**.

5. Аналогічно необхідно вибрати текстуру Стін і Підлоги.

6. Для всіх стін привласнимо матеріал **Vision Materials** -> **Materialarten** -> **Putze** -> **Rauher Putz** -> **Verwaschener Putz**.

7. Для стелі **Vision Materials** -> **Materialarten** -> **Holz** -> **Holz allgemein** -> **Birke**.

8. Вибрані матеріали і текстура з'являться у вікні **Менеджер проекта**. Звертаємо увагу, що матеріал відобразиться тільки після візуалізації.

Порада: Щоб привласнити однаковий матеріал і текстуру всім стінам або їхньому набору одночасно, необхідно в **Менеджер проекта** виділити необхідні стіни з натиснутою кнопкою **Shift** або **Ctrl**.

Розміщення меблів і об'єктів

Переходимо до облаштування приміщення.

Порада: Клацнувши двічі мишею на будь-які меблі, відкривається вікно **Характеристики** для зміни параметрів об'єкта.

1. У **Менеджер проекта** вибираємо закладку **Объекты** -> **Элементы помещения** -> **Окно**. Шляхом буксування встановлюємо в приміщення Вікно. Активне вікно має бути в режимі 3D-виду.

2. Параметри Вікна у вікні **Характеристики**: **Ширина** = 4.0, **Высота** = 1.2, **Расстояние слева** (X') = 0.5, **Расстояние снизу** (Y') = 1.3.

3. Привласніть **Окно** матеріал і текстуру з бібліотеки **Vision Materials** на ваш смак.

4. Розверніть вигляд так, щоб було зручнішим розташовувати двері на протилежній вікну стіні.

5. Розкрийте закладку **Объекты** -> **Элементы помещения** і виберіть **Двери**. Буксуванням перенесіть її із списку в приміщення. Використовую-

чи потрібний вигляд і операцію переміщення, установіть двері в потрібне місце. Параметри *Двері* у вікні *Характеристики*: **Ширина** = 1.4, **Высота** = 2.2, **Расстояние слева** (X') = 0.65, **Высота снизу** (Y') = 0.0.

6. Привласніть *Двері* матеріал і текстуру з бібліотеки *Vision Materials* на ваш смак.

7. Розкрийте закладку *Объекты* -> *3D-объекты / Мебель* -> *Добавить*. У вікні, що з'явилося, виберіть *Shelves/cupboards*, клацаємо двічі, вибираємо *Armoire 2/*. Натискуємо *Принять*. Вибрана шафа відобразилася в *Менеджер проекту*. Буксуванням перетягуємо її в *Активное окно*. Розташуйте шафу поряд із *Дверями* стулками всередину приміщення.

8. На вигляді зверху (План) кнопка **F2**, розташуйте шафу згідно з планом.

9. У вікні *Характеристики: Масштабирование*: X: 2.1, Y: 1.5, Z: 1.4.

10. Аналогічно з бібліотеки вибираємо інші меблі та розміщуємо в приміщенні: робочий стіл, стілець і ноутбук – згідно з планом.

11. Для зручності розміщення користуйтеся виглядом *Сверху* і *3D-вид*. Для коректування місця розташування користуйтеся властивостями *Вращать* (Ctrl+R) і *Перемещать* (Ctrl+E).

12. Як тільки сформовано одне робоче місце, виділяємо об'єкти, що в нього входять: стіл, стілець, ноутбук. Клацаємо праву кнопку миші і вибираємо *Объекты группировать*. Отже, ми маємо новий об'єкт (групу), яка відображатиметься на вигляді Зверху як *Группа 1*.

13. Виберіть клацанням *Группа 1*. У вікні *Характеристики*, що з'явилося, в графі *Обозначение* напишіть *Рабочее место*. Групи автоматично індексуються, тому немає потреби дописувати номер групи.

14. Для зручності розміщення меблів можна на згруповані об'єкти, що знаходяться вже в активному вікні, клацнути правою кнопкою миші і вибрати *Объект* розмістити в ряд. Вкажіть мишею напрям копіювання і кінцеву точку. Після того, як Ви відпустите кнопку, відкриється вікно *Характеристики*, у якому можна задати опції копіювання.

15. Додаємо в сцену стіл для перемовин, наприклад (meeting table 1).

16. Розставляємо всі меблі в приміщенні згідно з планом.

17. Зберігаємо проект.

Сцени освітлення

Програма *Relux* має нагоду розраховувати як штучне освітлення, так і природне. Для того щоб це стало можливим, створимо нову сцену.

1. Для цього необхідно скопіювати готове приміщення. В головному меню вибираємо пункт **Проект -> Удвоить сцену**.

2. За допомогою головного меню **Проект -> Редактировать сцену** замінюємо назву приміщення у відповідній графі, наприклад на (Test_room_nature).

3. Перемикання сцен здійснюється в кнопковому меню **Сцена**, тут же можна бачити, яка сцена активна.

Отже, одна сцена призначена тільки для розрахунку природного світла (Test_room_nature), а в іншій розставимо світильники і будемо розраховувати штучне світло і/або комбіноване (Test_room).

Розрахункові площини

Щоб зробити якісний проект освітлення, нам необхідно дотримуватися відповідних норм із кількості та якості світла, що регламентуються в нормативних документах (ДБН, МГСН, DIN EN і т.д.).

1. Для цього потрібно ввести площини, в яких одержуватимемо результати розрахунку світлотехнічних величин.

2. У **Менеджер проекта** відкриваємо закладку **Объекты -> Измерительные элементы**, вибираємо **Виртуальная измеряемая поверхность**.

3. Перетягуємо розрахункову площину на поверхню одного робочого столу, розташованого біля вікна. Стандартна площина має прямокутну форму.

4. Клацаючи двічі по розрахунковій площині, переходимо у вікно **Характеристики**.

5. У графі **Обозначение** пишемо **Рабочий стол** і змінюємо тип поверхні з прямокутної на багатокутну за допомогою спадного меню.

6. Встановлюємо необхідну висоту розрахункової поверхні так, щоб вона розташовувалася на столі.

7. Внизу цього ж вікна ви знайдете закладку **Расчет**, у якій можна встановити параметри розрахунку світлових характеристик на цій площині (горизонтальна, вертикальна освітленість, розрахунковий растр, показник дискомфорту і т. д.).

8. Там же виберіть **Горизонтальная освещенность**.

9. Використовуючи мишу, по точках додайте площині необхідний розмір, відповідний розмірам столу.

10. Створіть аналогічну розрахункову поверхню і розмістіть її на поверхні клавіатури ноутбука.

11. Аналогічно розташуйте розрахункову площину на поверхні столу для перемовин. Дії щодо зміни геометрії розрахункової поверхні аналогічні зміні геометрії приміщення.

Порада: Клавіатура в цьому випадку є робочою зоною, а стіл – зона безпосереднього оточення. Горизонтальна освітленість цих зон повинна бути 500 і 300 люкс відповідно, а нерівномірність освітлення робочої зони – більше або дорівнювати 0,7, а зони оточення – не менше 0,5.

Вибір і розміщення світильників

Тепер можна розпочинати вибір і розстановку світильників.

1. У *Менеджер проекта* виберіть закладку **Объекты -> Светильники -> Добавить**.

2. Відкриється вікно **Выбор светильников**, активуйте закладку **Отдельный светильник**.

3. Пропишіть шлях до файлу (Light_fixtures_Test.LDT), який знаходиться на диску в теці Relux.

4. Натисніть **Новый**, потім **OK**.

5. Вибраний світильник пропишеться в *Менеджер проекта*.

6. У програмі передбачено декілька способів швидкого розміщення однотипних світильників.

7. Можна розміщувати світильники по лінії, колу, рівномірно або відображати один щодо одного.

8. Для цього буксуванням перетягніть світильник із *Менеджер проекта* на план.

9. У *Менеджер проекта* виберіть закладку **Проект**, клацніть на потрібний світильник правою кнопкою миші і виберіть **Группировать**.

10. Інший спосіб – це **Zonal Cavity**, який пропонує потрібну кількість світильників, виходячи з необхідної освітленості, коефіцієнта запасу (коефіцієнт технічного обслуговування), способу монтажу та інших параметрів. Його можна викликати з головного меню **Светильники -> EasyLux** або з **Линейка инструментов**. В нашому випадку ми скористаємося саме ним.

11. У вікні, що з'явилося, у графі **Вид монтажа** ставимо **Потолочный монтаж**. Решту параметрів залишаємо без змін. Натискуємо **OK**.

12. Світильники виявляються розставленими – це видно в активному вікні. Для редагування розстановки світильників, не знімаючи виділення, ввійдіть знову в меню **Светильники -> EasyLux**.

Порада: Програма Relux рівнозначно розуміє файли з описом світильників як у форматі IES, так і в LDT.

Обчислення

Після розстановки світильників наше приміщення готове до розрахунку світлотехнічних параметрів.

1. Насамперед необхідно перевірити коректність геометрії приміщення і розстановки меблів. Це просто зробити, вибравши з лінійки інструментів кнопку **Помещение проверить**. З'явиться вікно **Проверка столкновений**, у якому буде автоматично відображена інформація про коректність побудови сцени.

2. У головному меню вибираємо пункт **Расчет -> Менеджер расчета**.

3. Встановимо «галочки» у приміщенні зі світильниками навпроти **Искусственное освещение**. Справа відкриється вікно налаштувань розрахунку, при вибраній знизу закладці **Расчет**. Точність – є можливість вибрати один з чотирьох варіантів розрахунку по точності. Перший варіант – **Только прямая составляющая** – грубий розрахунок розподілу освітленості по сцені, враховується тільки пряме світло від світильника, немає обліку багаторазового відбиття. Четвертий варіант – **Высокая составляющая отраженного света** – точний розрахунок як прямої складової світла від світильника, так і перевідбиттів у сцені між поверхнями. Використовується переважно в світлих приміщеннях з великим коефіцієнтом відбиття поверхонь або у випадках, коли потрібно одержати максимально точний розрахунок світлотехнічних величин. Варіанти **Небольшая** і **Средняя отраженные составляющие** – є проміжними. Растр – параметри установки розрахункової сітки (растр). Є як автоматичний режим, так і ручний. Зміни параметрів розрахункової сітки в ручному режимі можуть негативно позначитися на часі розрахунку. Коефіцієнт технічного обслуговування – встановлюється коефіцієнт зниження освітленості в сцені залежно від чистоти і технічного обслуговування приміщення. За умовчанням встановлено значення 0,8.

4. У закладці **Расчетные поверхности** знаходиться список поверхонь із параметрами розрахункової сітки, на яких будуть проводитися розрахунки.

5. У закладці **Оценка ослепленности** можна встановити параметри віртуального спостерігача для визначення показника дискомфорту, у цьому випадку європейського аналога (UGR – Unifay Glare Range). Параметри спостерігача такі: X(m): 0.5, Y(m): 2, Z(m): 1.7.

6. Переходимо до другого приміщення *Test_room_nature*. Встановимо галочку навпроти *Дневной свет*. У пункті *Дневной свет* відкриваються характеристики розрахунку. Перша закладка *Расчет* аналогічна закладці *Расчет для искусственного света*. Додана графа – *Небо*, можна вибрати одну з двох моделей небозводів: *Пасмурное небо по СІЕ* або *Ясное небо по СІЕ*. Відмінність в появі прямої складової сонячного проміння.

7. Встановіть *Пасмурное небо по СІЕ*.

8. Вибираємо закладку *Дата*, встановіть поточну дату і час (*Дата, Местное*).

9. Натискайте кнопку *Место расположения*. Встановіть: *Широта* – 55,7°, *Долгота* 37,6°.

10. У шапці списку міст напишіть *Moscow* і натискайте *Взять новое значение* в лист розміщення. Натискаємо ОК.

11. Натискаємо кнопку *Северный угол*. У вікні, що з'явилося, можна регулювати положення приміщення відносно півночі. У нашому випадку залишимо значення за умовчанням – 0.

12. Натискаємо кнопку *Старт*.

Після закінчення розрахунків проаналізуйте результати

1. Відкрийте повторно *Менеджер расчета*, зніміть галочки з *Искусственное освещение* і *Дневной свет*, встановіть галочку навпроти *Relux Vision*.

2. У вікні налаштувань *Relux Vision* виберіть закладку *Виды*, встановіть по одному довільному вигляду в кожній сцені.

3. Натискаємо кнопку *Старт*.

4. Порівняйте одержані результати. Relux дозволяє розраховувати суміщене освітлення (поєднання штучного і природного освітлення). Такий розрахунок, наприклад, може бути корисний для аналізу систем управління освітленням або розрахунку рентабельності освітлювальної установки в умовах наявності великої кількості природного світла в приміщенні. Проведемо такий розрахунок для приміщення *Test_Room*.

5. Для розрахунку комбінованого освітлення (природне + штучне), заходимо в *Менеджер расчета* і встановлюємо галочку поряд зі штучним і природним освітленням.

6. Зберігаємо проект.

Порада: Для візуального аналізу розподілу світла по сцені виберіть на лінійці інструментів *Распределение яркости в 3D*.

Економічний аналіз

Програма Relux Professional дозволяє в автоматичному режимі провести оцінку економічної вигоди завдяки використуванню природного світла в приміщенні. Для цього:

1. У головному меню вибираємо *Расчет -> Экономичность -> Дневной свет -> Заданные величины*.

2. У меню *Заданные данные* виставляємо необхідні значення експлуатації приміщення в перебігу року: робочий час, час відпусток, перехід на літній/зимовий час, необхідну освітленість, коефіцієнт природної освітленості. Усі параметри залишаємо за умовчанням. Натискаємо **ОК**.

3. Далі вибираємо *Дневной свет -> Вероятность солнечного света*. З'являється вікно *Солнечная правдоподобность*, із назви вікна зрозуміло, що йдеться про процентну вірогідність потрапляння прямого сонячного проміння у вікно по місяцях. На жаль, від залежно місця розташування приміщення та орієнтації на північ ці дані мінятимуться і, окрім як емпіричним шляхом, їх не обчислити, тому скористаємося кнопкою *DIN-стандарт*, яка виставить всі значення ймовірності на 40 %. Натискаємо **ОК**.

4. Вибираємо *Дневной свет -> Осветительное устройство*. З'являється вікно *Осветительное устройство*, у який потрібно внести параметри світильника, що використовується нами: кількість світильників: 6, споживання потужності на світильник: 56 Вт, вартість за кВт/год : 2. (вартість електроенергії на поточний час). Натискаємо **ОК**.

5. Вибираємо *Дневной свет -> Изолюксы линии*. З'являється вікно *Распределение в изолюксах*, у якому можна змінювати порогові значення ізоляцій. Залишаємо значення за умовчанням. Натискаємо **ОК**.

6. Вибираємо *Дневной свет -> Рассчитать*.

7. В активному вікні з'являться результати економічного розрахунку. Самостійно проаналізуйте дані та зробіть висновки.

8. Якщо в розрахунковому приміщенні знаходяться світильники двох і більше типів, то за допомогою *Расчет -> Экономичность -> Искусственное освещение* можна просто і наочно порівняти типи світильників, що використовуються, у вигляді таблиці та вибрати найекономічніший світильник. Для цього у вікні *Экономичность светильника*, виберіть кількість порівнюваних світильників і на кожному натискайте *Обработать*, заповніть пропоновані графі. Точність вказаних даних впливатиме на результат порівняння.

Порада: Ізолінії переважно використовуються в графічному відображенні розподілу освітленості на поверхні або групі поверхонь. Програма Relux використовує в світловому аналізі *Коефіцієнт естественной освещенности* (КЕО) – відношення природної освітленості, створюваної в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба (безпосереднім або після відбиття), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, створюваної світлом повністю відкритого небозводу, вимірюється у відсотках. За діючими нормами [3] КЕО в суспільних робочих приміщеннях має бути не нижчим за 1 %. Значення КЕО за умовчанням у програмі дорівнює 5 %.

Аналіз і збереження результатів

1. Після закінчення розрахунку в Менеджері проекту вибираємо закладку *Выходные данные* і аналізуємо результати на розрахункових поверхнях, а також у просторі приміщення з використанням фіктивних кольорів.

2. Далі встановіть галочки в пунктах: *Данные светильника, Чертежи горизонтальной поверхности, Обзор результатов* (на всіх розрахункових поверхнях), *3D-псевдоцвета -> Освещенность -> 3D вид 1, Vision* результати на двох видах. Виберіть й інші вихідні дані, які допоможуть Вам оцінити результат освітлення.

3. У меню активного вікна вибираємо пункт *Обработать -> Вид печатать*, у вікні, що відкрилося, вибираємо всі сторінки і формат *.PDF. Можна вибрати принтер, який є у розпорядженні, тоді результати розрахунку будуть надруковані на папері.

4. Далі натискуємо *Печать* і зберігаємо результати в свою теку. У результаті Ви одержите єдиний PDF-файл з усіма виділеними світлотехнічними результатами.

Робота з ReluxCAD

У цьому розділі спробуємо провести геометричні побудови приміщення Test_Room засобами ReluxCAD. Для цього нам потрібна програма AutoCAD версії після 2005.

1. Запускаємо AutoCAD.
2. Відкриваємо файл «Draw_Test_Room.dwg»
3. У лінійці інструментів з'явилася панель *ReluxCAD*.
4. Необхідно створити новий проект, скориставшись кнопкою *Project* на цій панелі.

5. У вікні, що відкрилося, вибираємо **Create** і зберігаємо файл у вашу теку.

6. Перевіряємо, щоб у меню **Scaling** стояли «1» в обох графах. Це свідчитиме, що ми працюємо в масштабі 1:1. Натискуємо **Close**.

7. У лінійці AutoCAD відкриваємо **Диспетчер свойств слоев** і створюємо новий шар, наприклад (RLX_1), і вибираємо його поточним.

8. Вибираємо кнопку **Draw room** і обводимо приміщення на плані. Коли контур замкнутий, натискуємо праву кнопку миші або **Enter**.

9. У вікні **Create**, що з'явилося, вводимо: назва приміщення **Name:** Test_room_ReluxCAD, висоту приміщення **Room height(m):** 3, Висоту тексту **Text height** встановлюємо рівній одиниці (0.2).

10. Натискуємо кнопку **Select room**, і натискуємо **Start Relux**.

11. Тепер можна бачити, як наше приміщення виглядатиме в програмі Relux.

12. Виберіть будь-який об'єкт у **Менеджер проектов**, розмістіть в активному вікні, наприклад це може бути стіл для переговорів.

13. Поверніться в AutoCAD, натисненням кнопки із значком **AutoCAD** на лінійці інструментів у **Relux**.

14. Вибираємо в лінійці інструментів **Import 3D project**.

15. Перевіряємо правильність шляху файлів і його властивості. Натискуємо **Insert**. Отже, вміст файлу Relux перенісся (синхронізувався) з AutoCAD. Є й інша можливість – переносити 3D-об'єкти з AutoCAD у проект Relux. Для цього:

16. Вибираємо на панелі **Export 3D object**, у вікні, що відкрилося, натискуємо кнопку **Select object**. Виділяємо курсором елемент меблів, натискуємо праву кнопку миші **Copy to clipboard -> Close**.

17. На панелі вибираємо **Select room**, натискуємо Relux у вікні, що з'явилося, відкривається Relux, у меню вибираємо **Обработать -> Добавить**. Об'єкт з'явиться в **Менеджері проектів**. Повертаємося в AutoCAD. Додаємо світильники.

18. Натискуємо на панелі **Luminare selection/Single placing**.

19. У вікні, що відкрилося, натискуємо **Select luminaries** і, як у Relux, вибираємо світильник Light_fixtures_Test.LDT. Для введення одного світильника в тому саме вікні натискуємо кнопку **Plase Single luminaire**. Мишею позначаємо початкову точку розташування і поворот світильника.

20. Для створення групи світильників у кнопковому меню натискаємо **Place Luminare group**. Мишею позначаємо лінію, уздовж якої проводимо копіювання світильників.

21. Після завершення у вікні, що відкрилося, вводимо параметри копіювання.

22. Вибираємо кількість і спосіб розстановки на свій розсуд.

23. Запропонуйте свою концепцію освітлення.

24. Переходимо в Relux і проводимо розрахунок.

25. Повертаємося в AutoCAD.

26. У лінійці інструментів вибираємо **Select room** і у вікні **Relux interface**, натискаємо кнопку **Insert overview**, **Insert Isolines**, **Insert table**. Отже, на кресленні в AutoCAD відображаються світлотехнічні результати.

27. Зберігаємо одержане креслення.

Налаштування програми Relux

Основні налаштування програми та величини, що використовуються за умовчанням, можна змінити за допомогою: **Главное меню -> Экстра**. Таким чином, можна змінити початкові установки програми, включаючи використану мову інтерфейсу, бази даних і вихідної документації.

Для самоконтролю рекомендується користуватися файлом «Relux_test.rdf», що знаходиться в архіві Relux.zip.

2.4 Основи моделювання освітлення в програмі Dialux

Незаперечною перевагою програми Dialux є російськомовний інтерфейс, який значною мірою допомагає користувачу працювати з програмою без знань іноземної мови. В основі інтерфейсу програми лежить розділення екрану на декілька функціональних частин:

У верхній частині – головне меню і лінійка інструментів швидкого доступу до команд (рис. 2.4).

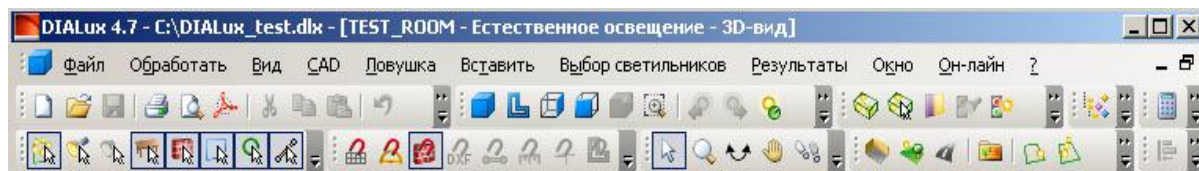


Рисунок 2.4 – Головне меню і лінійка інструментів швидкого доступу до команд в Dialux

Зліва *Менеджер проекта* – деревоподібний список усіх елементів проекту із закладками до баз даних елементів проекту: спортивні поля, текстири, світильники, результати розрахунків (рис. 2.5).

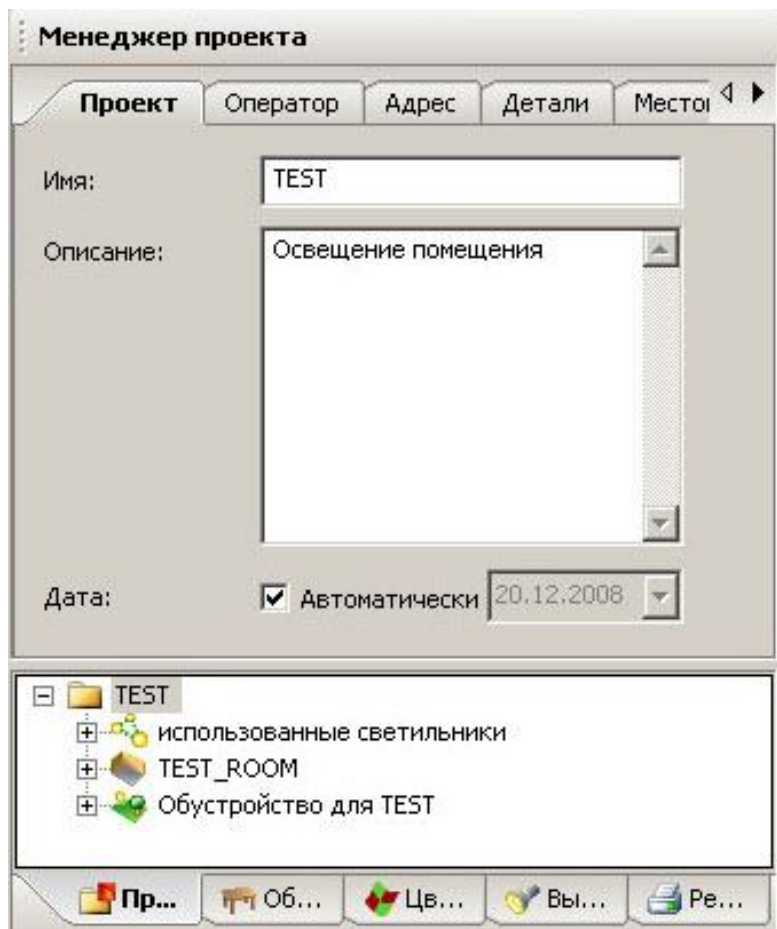


Рисунок 2.5 – Вікно *Менеджер проекта*

Зверху панелі *Менеджер проекта* розташовується вікно *Инспектор свойств* виділених елементів проекту (рис. 2.6).

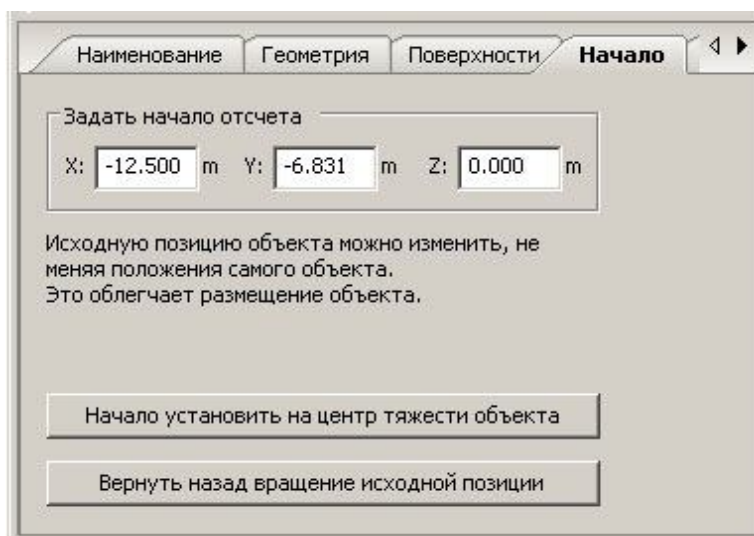


Рисунок 2.6 – Вікно *Инспектор свойств*

У центрі CAD – вікно, що представляє варіант класичного вікна графічного редактора векторних двовимірних і тривимірних зображень; різні види сцени встановлюються клавішею на *Линейка инструментов* або в головному меню *Вид* і розташовуються на різних закладках зверху вікна (рис. 2.7).

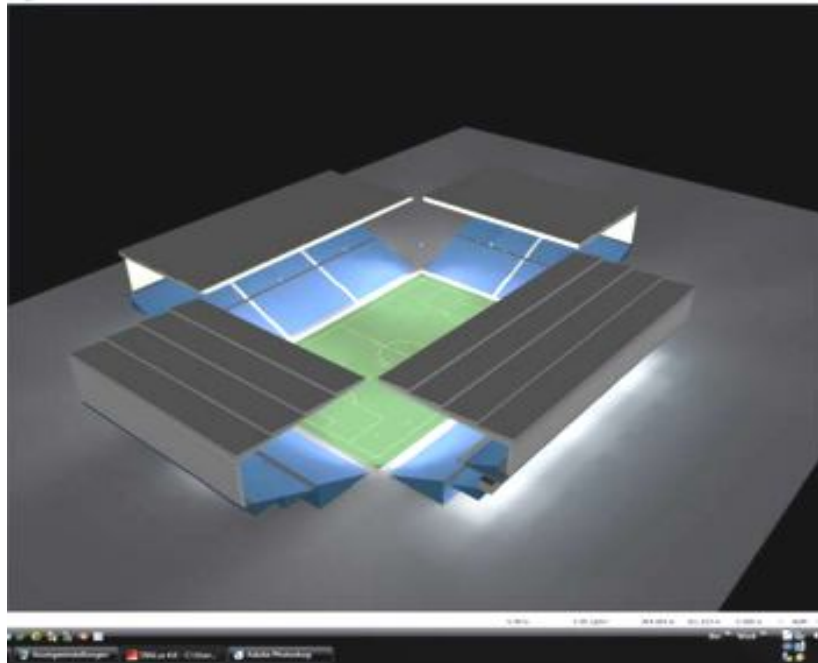


Рисунок 2.7 – CAD – вікно

Справа панель *Проводник* – швидкий доступ до основних етапів створення і розрахунку ОУ (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Панель *Проводник*

Програма DIALux, починаючи з версії 4.6, поповнилася модулями, що полегшують проектування освітлення для спортивних об'єктів. Майдачки можна розміщувати як у приміщеннях, так і зовні. Конструкція розрахункових сіток об'єктів, що автоматично додаються, відповідає вимогам згаданого нормативного документа, що стосується освітлення спортивних споруд. У **Проводник**, який стандартно з'являється в правій частині вікна CAD, додана додаткова вкладка, присвячена проектуванню спортивних об'єктів. Виконуючи дії у вказаній послідовності, ми не пропустимо жодного важливого елементу проекту.

Щоб представити можливості програми, як приклад буде використаний проект одного із спортивних комплексів «Орля 2012».

1. Подвійне клацання для відкриття групи програм DIALux із меню **Пуск** -> **Програми** і подвійне клацання для запуску програми DIALux по її значку.

2. Під час завантаження програми Ви побачите панель запрошення в програму.

3. Після закінчення завантаження в програмі DIALux автоматично відкривається панель **Ассистент** проектів освітлення.

4. У стартовому діалозі необхідно вибрати **Новый проект для наружной сцены** (рис. 2.9).

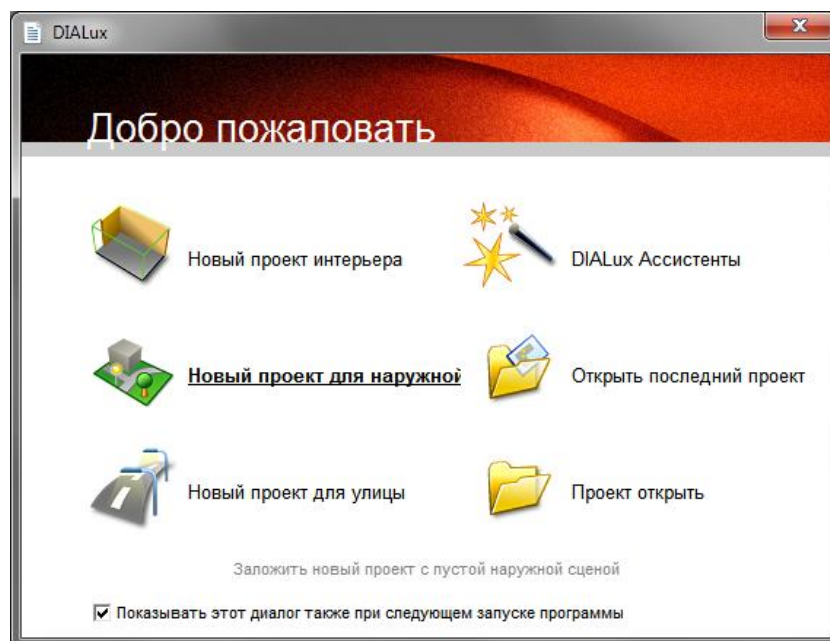


Рисунок 2.9 – Початкове діалогове вікно

5. Використовуючи шаблони, запропоновані розробниками програми, перейдемо до відповідної вкладки **Проводник – Освещение спортивных объектов**, де представлені всі етапи планування освітлення (рис. 2.10).

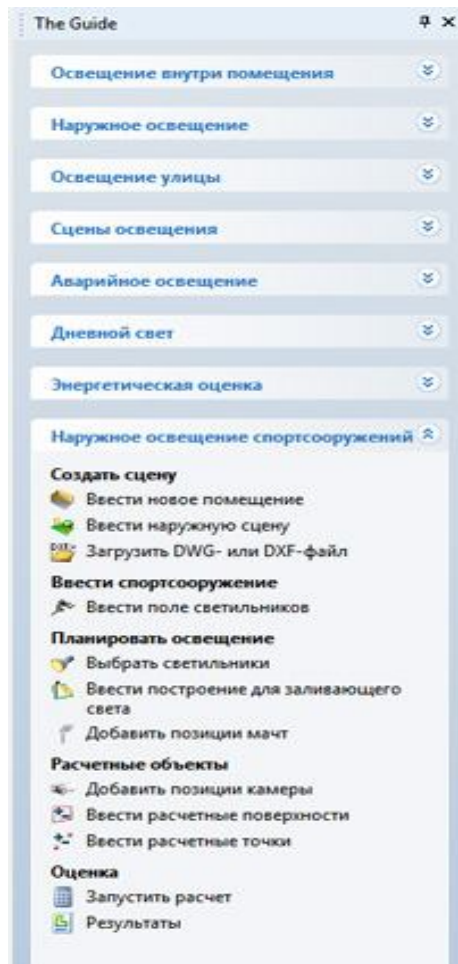


Рисунок 2.10 – Вкладка в **Проводник – Освещение спортивных объектов**

Оскільки ми вже створили сцену, а наш проект не містить архітектурної бази, перейдемо до дії **Ввести спортсооружение**. Клацнувши на кнопці **Ввести поле светильников**, ми побачимо в лівій частині вікна САД перелік доступних спортивних арен і елементів, пов'язаних з освітленням спортивних об'єктів. У розпорядження проектувальника надаються «робочі області» найпопулярніших спортивних дисциплін. Можна вибрати: загальний спортмайданчик, який можна використовувати для дисциплін, що не увійшли до переліку, футбольне поле, поле для гандболу, баскетболу, волейболу, великого тенісу, бадмінтону і бігову доріжку (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Вікно вибору виду спорту, для якого призначена споруда

Користуючись вказівкою, розміщеною над меню, поле можна ввести в проект методом «перетягнути і відпустити». Інша можливість – клацнути на конкретній дисципліні, а потім у *Менеджер проекта* визначити величину об'єкта і натискувати кнопку **Вставить** (рис. 2.12).

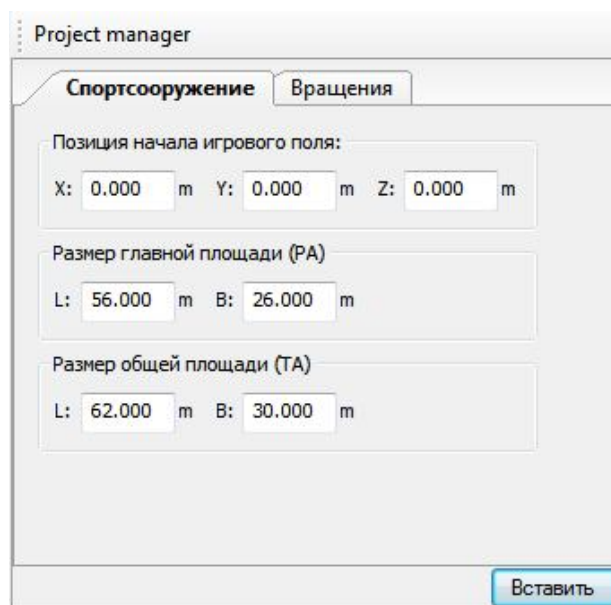


Рисунок 2.12 – Визначення величини споруди в *Менеджер проекта*

Варто врахувати, що норма PN-EN 12193 визначає ігрове поле дисципліни як «Головне ігрове поле» (РА). Найчастіше цей той простір, у якому ведеться гра, обмежений лініями, до якого належать усі вимоги, і «Загальне ігрове поле», тобто прилеглий простір, наприклад поле ауту у футболі, для яких встановлені вимоги, що становлять 75 % показників, передбачених для РА.

У відповідні поля *Менеджер проекта* внесемо показники, закладені в програмі «Орля-2012».

Після внесення футбольного поля відповідно до запропонованих розмірів, ми побачимо, що загальна поверхня має правильні розміри, тоді як елементи самого футбольного майданчика виходять за її межі. Мабуть, програмісти компанії DIAL не припускали, що хтось схоче проектувати такі маленькі футбольні майданчики. З одного боку, можна визнати це помилкою.

Проте, з другого боку, враховуючи необхідність збереження характерних розмірів, які мають бути дотримані, наприклад лінія 3-очкових кидків у баскетболі або відстань одинадцятиметрового удару від воріт, можна визнати, що такі обмеження необхідні. Залишивши осторонь міркування естетики, ввівши майданчик у проект, ми одержимо готове розрахункове поле з певною, відповідно до норми розрахунковою сіткою.

Для розрахунку всіх нормативних показників необхідно ввести GP-спостерігачів (потужності засліплення). Для цього в меню *Расчетный растр* (РА)» виберемо опцію *Создать GP-наблюдателя* (рис. 2.13).

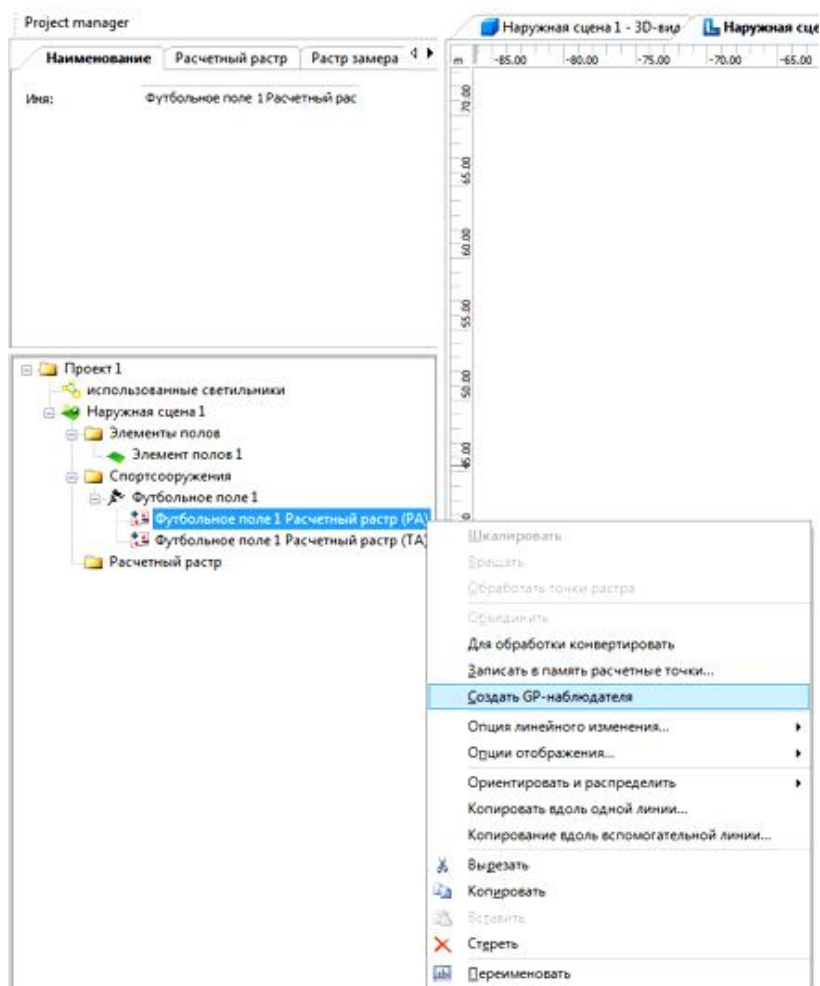


Рисунок 2.13 – Створення *GP-наблюдателя*

У результаті цієї операції в кожен розрахункову точку буде установлений **GP-наблюдателя**. Повторимо описані дії для баскетбольного і волейбольного майданчиків.

Результатом другого кроку, після внесення декількох косметичних поправок для поліпшення презентації **Наружная сцена** (рис. 2.14).

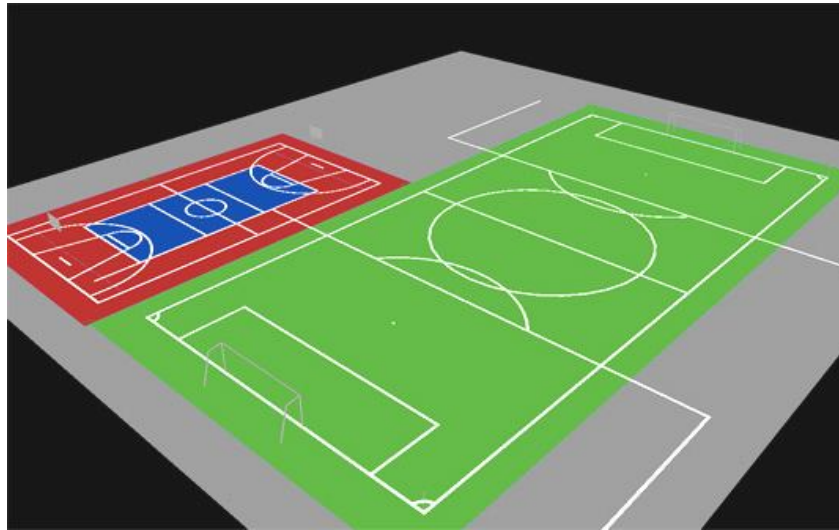


Рисунок 2.14 – Зовнішня сцена баскетбольного і волейбольного майданчиків

6. Підготувавши об'єкт освітлення, необхідно вибрати тип світильника. Введення освітлювальних приладів у проект вже неодноразово описувалося в наших статтях. Цього разу виберемо відповідний для освітлення спортивних об'єктів асиметричний металогалогенний прожектор заливаючого світла Alum потужністю 400 Вт. Виготовлений під маркою Brilum, світильник має прекрасні світлотехнічні параметри і відрізняється високою якістю виконання. Ступінь захисту IP 65 гарантує стійкість світильника до атмосферних дій (рис. 2.15).

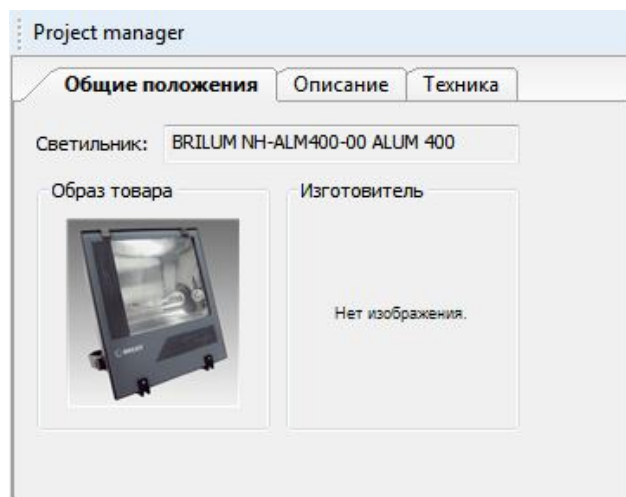


Рисунок 2.15 – Вибір світлового приладу

7. Найважливіший етап підготовки проекту, що вимагає знань, праці і часу – це розміщення світильників і відповідна орієнтація світлового пучка.

Програма DIALux 4.6 має низку функцій, які значно полегшують і прискорюють цей етап роботи. Серед них потрібно зазначити систему розміщення світильників. Раніше проектувальнику доводилося займатися кожним світильником окремо. Тепер, завдяки функції *Размещение заливающего света*, можна об'єднати декілька симетричних стосовно одне одної точок. Це дозволяє перевірити різні можливості розташування світильників, використовуючи вектор розташування одного з них (рис. 2.16).

Вибравши відповідну опцію в *Менеджер проекта*, потрібно задати світильник, який ми хочемо використати, потім задати точку установки світильників, точку симетрії освітлення і кількість світильників у точці. У нашому випадку почнемо з двох світильників, розташованих по кутах футбольного поля, водночас точкою симетрії буде центр поля.

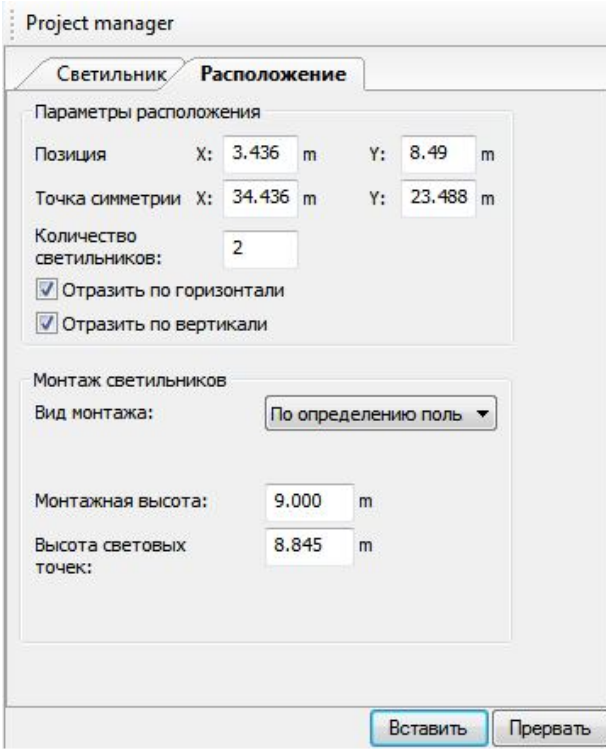


Рисунок 2.16 – Розташування світильників

Розміщення двох світильників точно в одному місці є певним спрощенням, проте, враховуючи відносно невеликі розміри світильника і велику відстань до освітлюваної поверхні, ми не одержимо значної помилки в розрахунках. Додатковий параметр – висота монтажу – у нашому випадку – 9 м.

Під час уведення світильника в проект необхідно задати оборот світильника щодо центру оптичної системи, тобто визначити, які площини

кривої розподілу сили світла відповідатимуть вектору напрямку. Цей крок необхідний, оскільки відсутня єдина система фотометрування світильників. Кожний виробник світильників сам вирішує, яку площину С або G вибрати як нуль.

Наш світильник має бути встановлений згідно з C0 і G0. «Схопивши» стрілку вектора, ми можемо повертати світильник у будь-якому напрямі, указуючи центр освітлюваного простору. Головною межею запропонованої системи розміщення світильників є те, що у разі зміни напрямку світла головного світильника всі вторинні, зв'язані з ним світильники також змінюють свою орієнтацію.

Ще одна корисна функція – виконання розрахунків вимірювальної сітки в реальному часі. Ця функція завжди активна, нам залишається тільки вибрати спосіб висновку розрахунків.

Для цього в меню *Расчетный растр (РА)* (рис. 2.17) виберемо *Опции отображения*, потім позначимо позиції, що цікавлять нас, – *Показать значения* і *Показать фиктивные цвета*. Щоб повною мірою використувати ці опції, виберемо в цьому ж меню *Обработать вспомогательные линии/фиктивные цвета*.

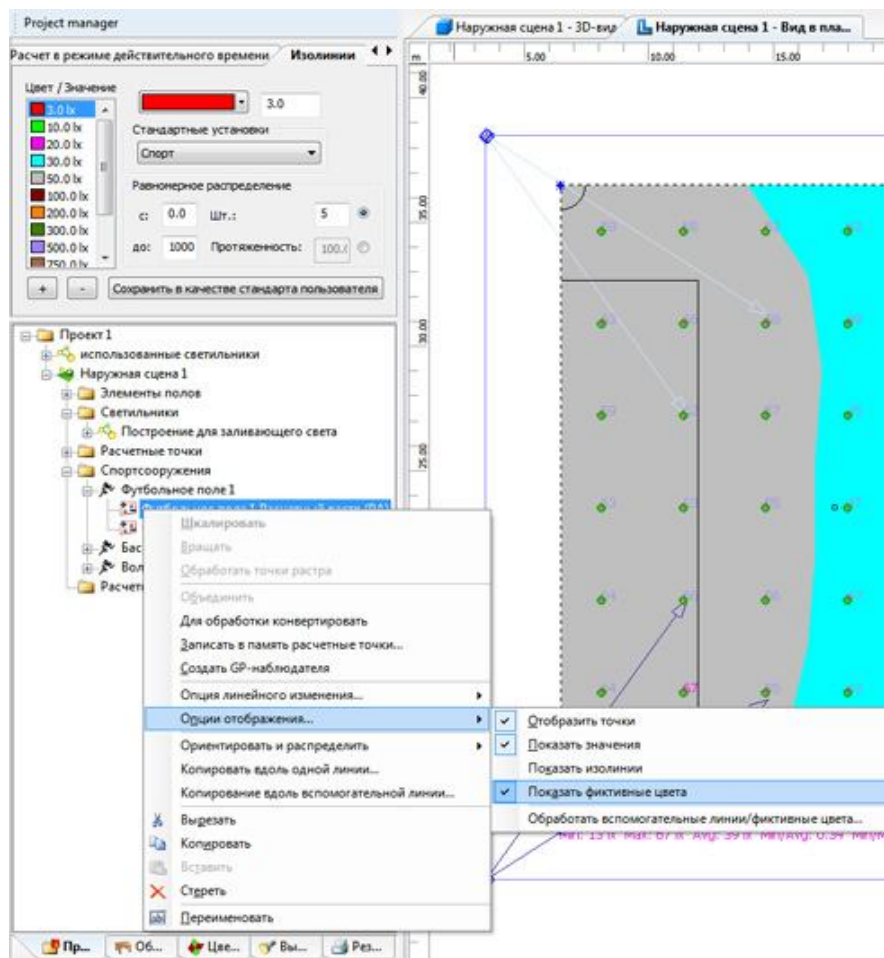


Рисунок 2.17 – Вікно розрахунку в реальному часі

Тепер визначимо в *Менеджер проекта*, як будуть подані зміни. Розробники пропонують нам схему *Спорт*. Завдяки описаним вище інструментам ми можемо швидко задати кількість і напрям світильників. Розрахунки проводяться в реальному часі, що дозволяє не витратити час на точні розрахунки після кожної зміни напрямку світильників.

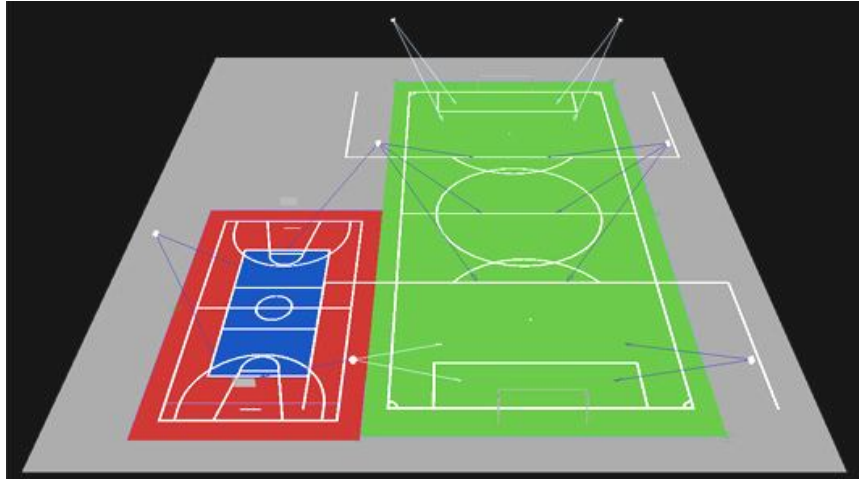


Рисунок 2.18 – Хід променів за вибраного розміщення світлового приладу

8. Модуль освітлення спортивних споруд передбачає можливість визначення місця установки освітлювальних опор. Сама опора не показана у вигляді тривимірного тіла в *Наружная сцена*, але її присутність значно полегшує презентацію результатів. На відповідній сторінці на висновку – *Мачтовые светильники (Резюме)* – буде показана кожна опора з розміщеними на ній світильниками. Додатково буде вказаний спосіб монтажу світильника на опорі. Результати розрахунку освітлення наведені на рисунку 2.19.

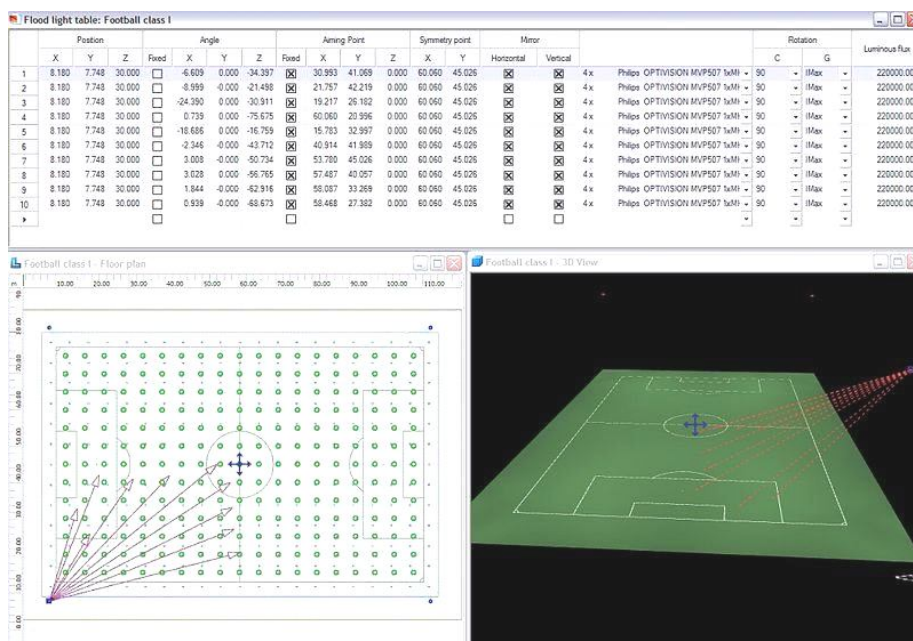


Рисунок 2.19 – Результати розрахунку в програмі DIALux

Проектування системи освітлення футбольного поля в програмі DIALux

1. Початок роботи. У стартовому вікні програми виберемо *Новый проект для наружной сцены*. Цей етап вже знайомий нам за попередніми частинами.

2. Використовуючи шаблони, запропоновані розробниками програми, перейдемо до відповідної вкладки *Проводник – Освещение спортивных объектов*, де представлені всі етапи планування освітлення.

3. Надалі у лівому нижньому вікні, у вкладниці *Объекты* обираємо папку *Спортивные сооружения*, там ми бачимо перелік необхідних елементів, які потрібні для різних видів спортивних змагань, серед них обираємо *Футбольное поле* і лівою кнопкою маніпулятора миші перетягуємо його у вікно зовнішньої сцени (рис. 2.20).

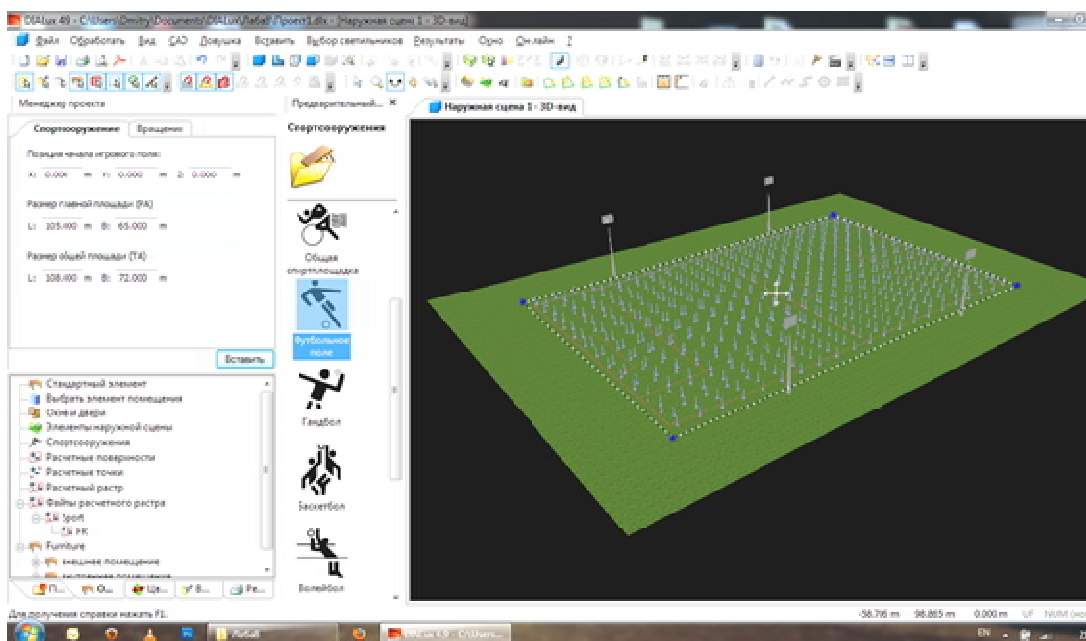


Рисунок 2.20 – Внесення до проекту футбольного поля

4. Для визначення геометричних параметрів поля у *Менеджер проекта* знаходимо вкладки *Геометрия*. Там ми можемо редагувати початкову позицію об'єкта, його розмір та обертання відповідно по осям x , y та z . Нам потрібно у графі *Размер* ввести довжину, ширину та висоту футбольного поля – L , B та H відповідно (рис. 2.21).

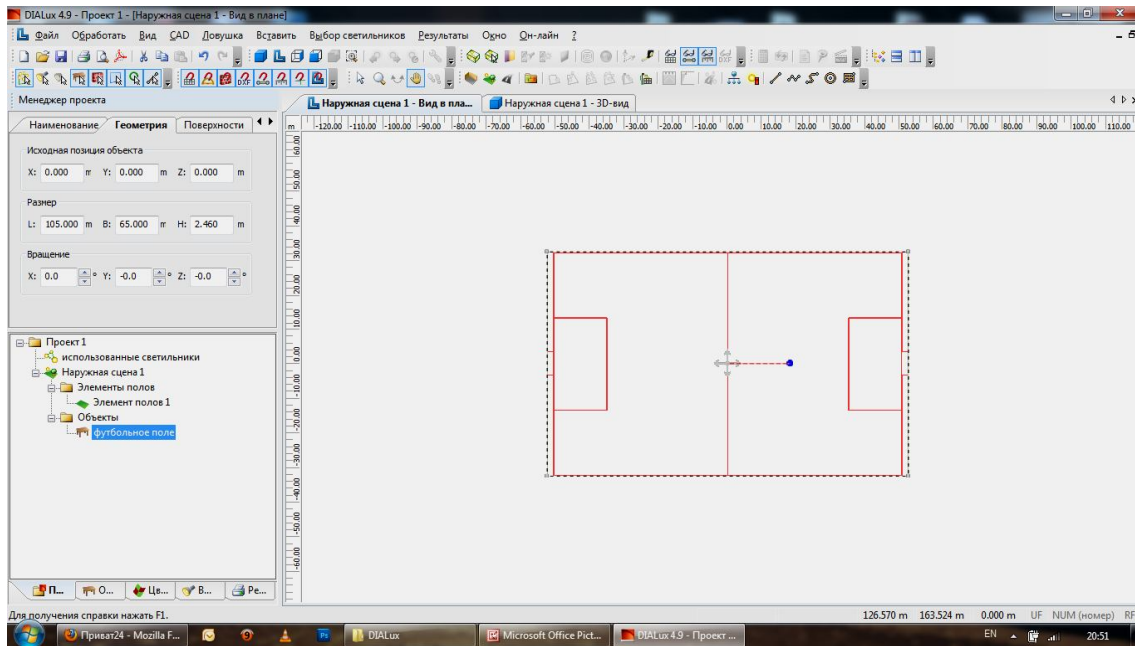


Рисунок 2.21 – Редагування футбольного поля

5. Для того щоб обрати текстуру поверхні поля, знаходимо у вкладці **Цвета** (рис. 2.22), яка розташована після вкладки **Объекты**, папку **Текстура** -> **Пол** -> **Другое** далі програма надає можливість вибрати одну з таких текстур, як: асфальт, трава, гравій, пісок, галька. У нашому випадку потрібно обрати траву, тому лівою кнопкою маніпулятора миші переносимо її на наше футбольне поле.

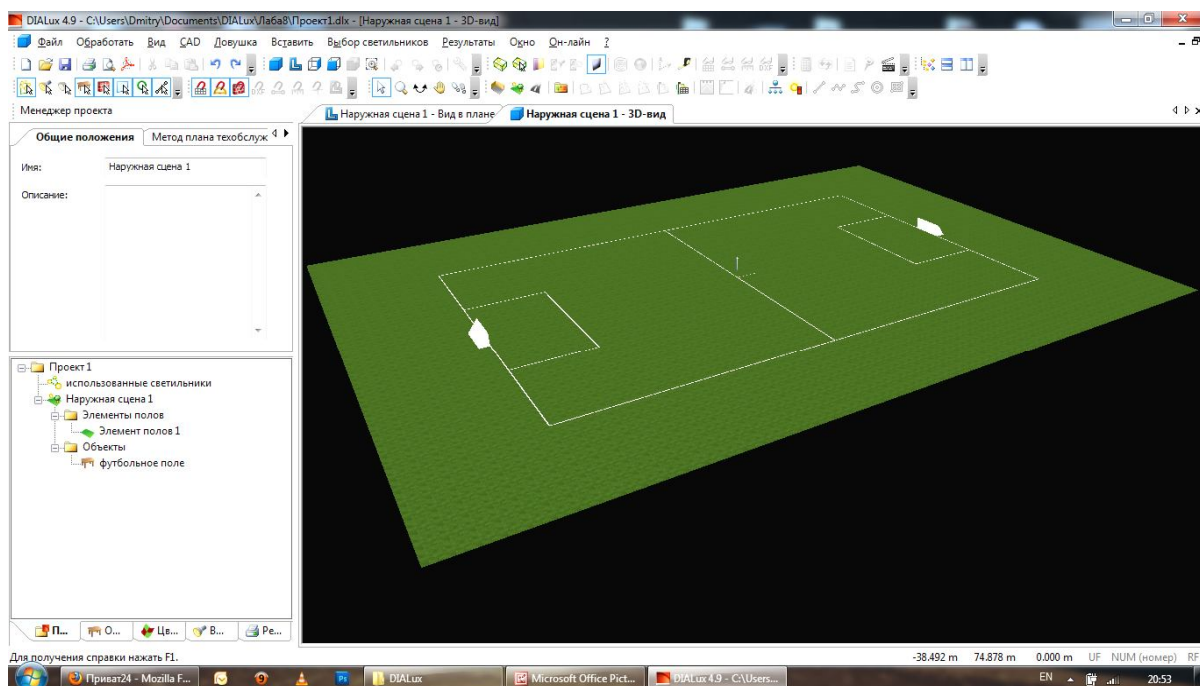


Рисунок 2.22 – Нанесення текстури на футбольне поле

6. Наступним кроком є внесення до проекту щогл, але спочатку ми обираємо позицію щогли. Для цього, як було представлено у пункті 2, заходимо **Объекты: спортивные сооружения**. Першою у списку є позиція щогли, тому лівою кнопкою маніпулятора миші ми обираємо її і переносимо у вікно зовнішньої сцени, до нашого футбольного поля (рис. 2.23).

Для того щоб відредагувати позицію щогли, відповідно до завдання, ми знову заходимо до вкладки **Геометрия** і у графі **Начальная позиция объекта** вводимо позиції по осям x та y, як вказано у завданні.

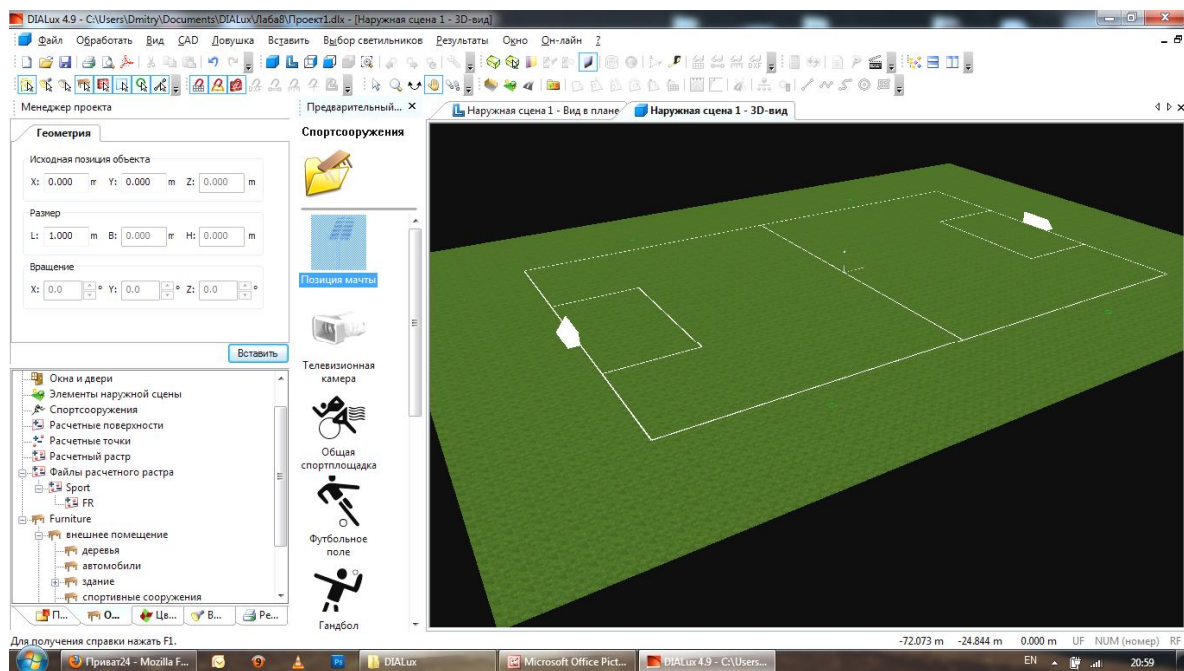


Рисунок 2.23 – Внесення до проекту позицій щогл та їхнє редагування

7. Надалі нам потрібно ввести до проекту самі щогли, оскільки вони не представлені у проекті, ми будемо створювати їх самі за допомогою стандартних елементів (рис. 2.24). Для цього нам потрібно знову повернутися до вкладки **Объекты: стандартные элементы**, там ми знаходимо такі прості геометричні фігури, як квадрат, призма, горизонтальний та вертикальний циліндр, конус, екструдер та скляна пластина. Ми лівою кнопкою маніпулятора миші вводимо до проекту конус або вертикальний циліндр і редагуємо його до таких параметрів, як нам потрібно, за допомогою вкладки **Геометрия**, як було представлено раніше в пунктах 4 та 6.

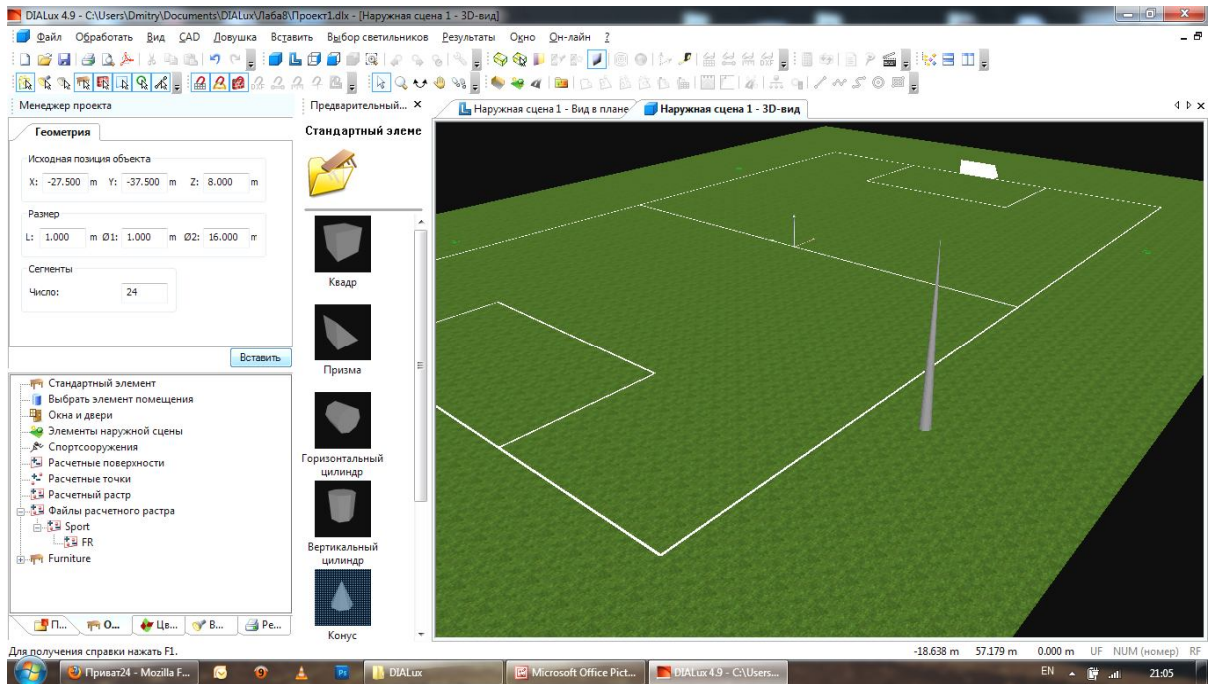


Рисунок 2.24 – Створення щогли (внесення до проекту конусу)

Оскільки сам конус або циліндр ще не становить щогли, надалі ми обираємо квадрат і також редагуємо його, як показано на рисунку 2.25.

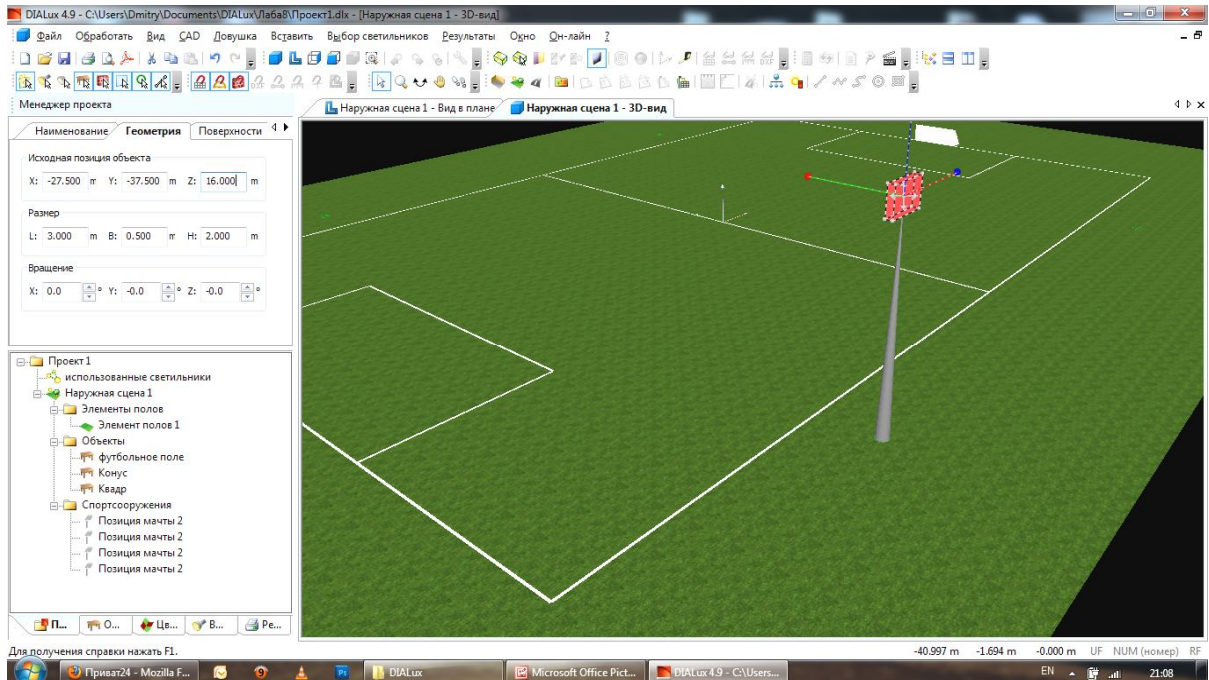


Рисунок 2.25 – Редагування щогли

8. Надалі нам потрібно розмістити щогли по периметру поля так, як вказано в завданні, тому спочатку ми копіюємо щоглу уздовж однієї лінії, як показано на рисунку 2.26.

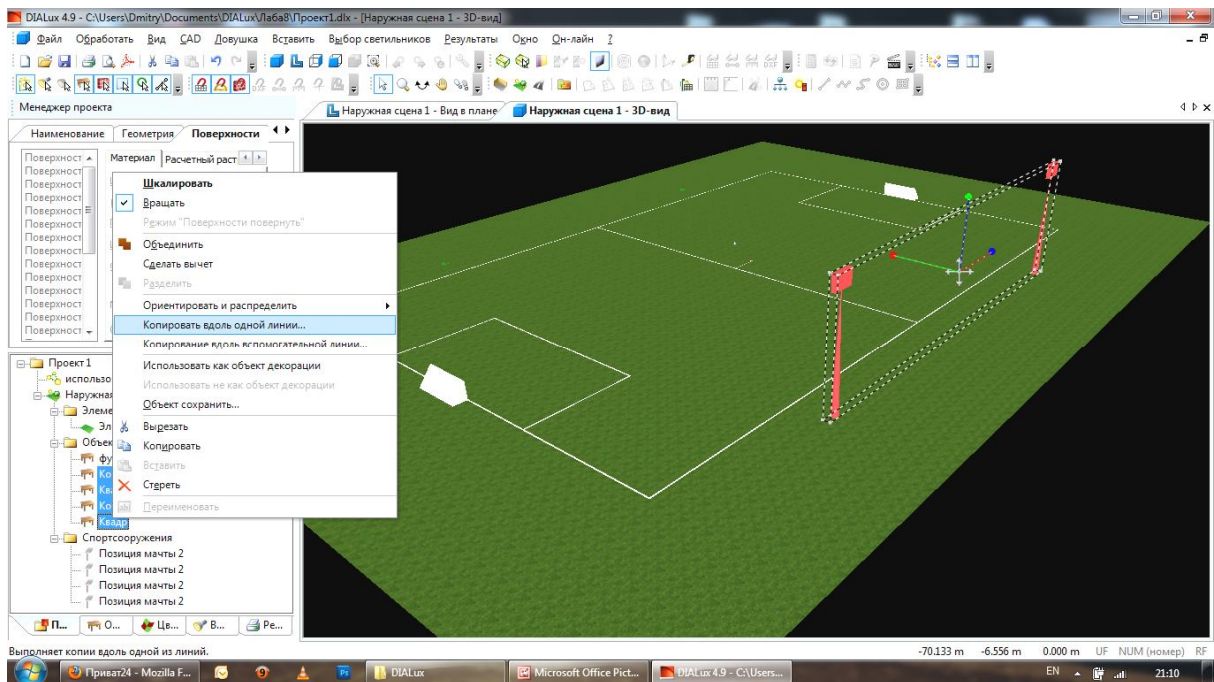


Рисунок 2.26 – Копіювання щогли

Потім відповідно розміщуємо щогли на другому боці футбольного поля (рис. 2.27, 2.28).

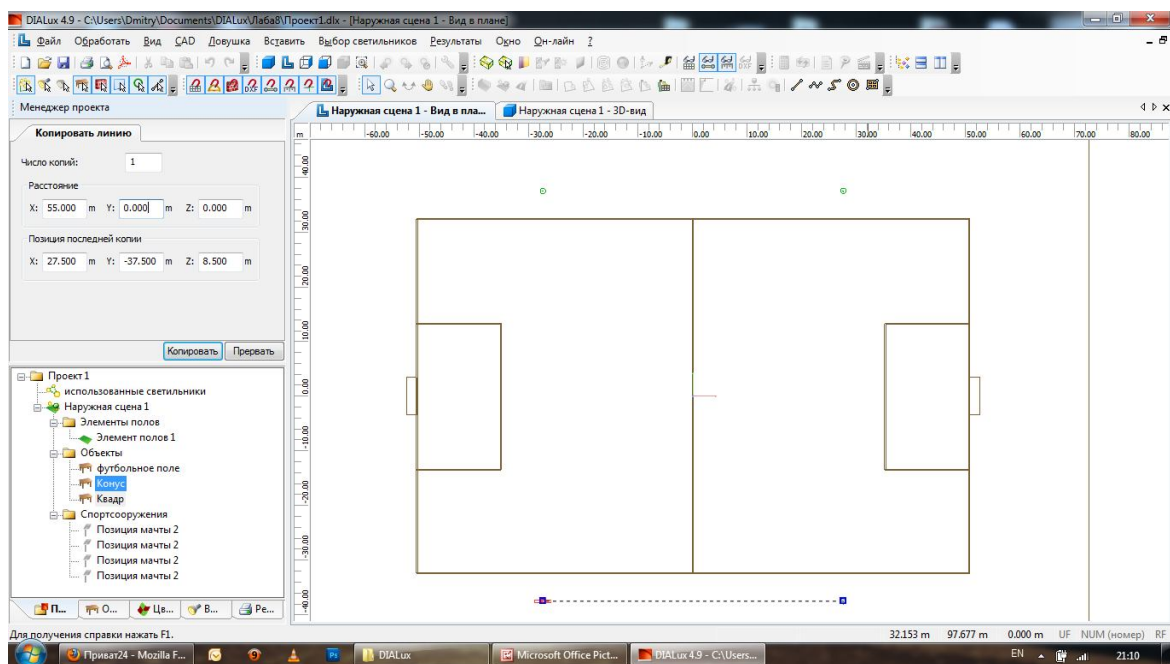


Рисунок 2.27 – Копіювання щогл відносно осі поля

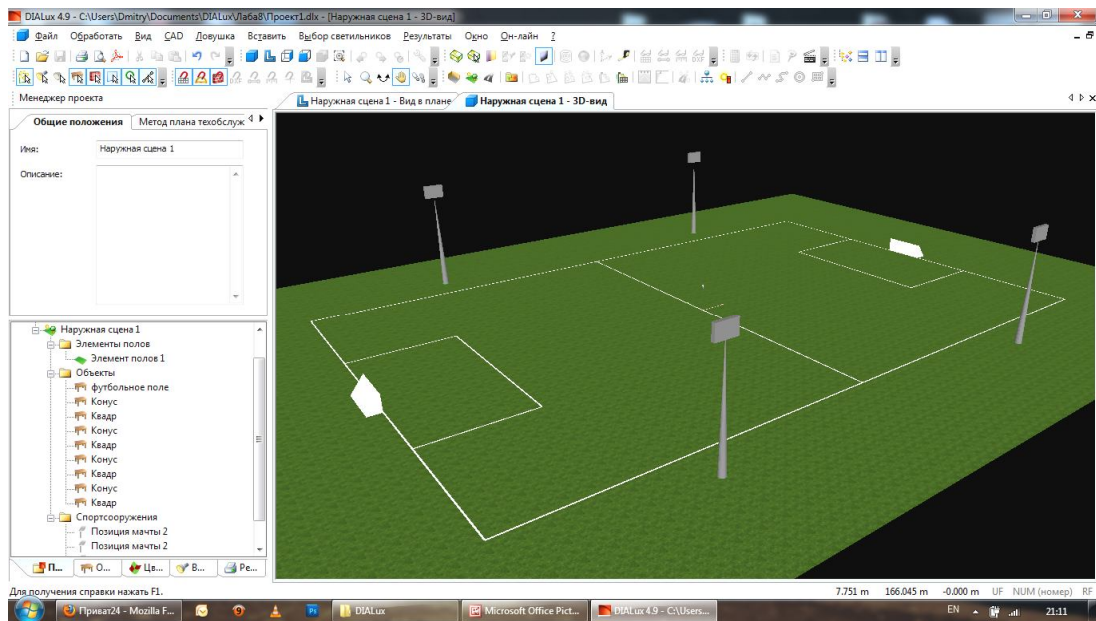


Рисунок 2.28 – Футбольне поле зі щоглами

9. Наступним кроком є вибір та розташування світлових приладів (СП).

Доступ до баз даних світильників здійснюється вибором закладки **Выбор светильников** у **Менеджер проекта**. Світильники так само розташовуються ієрархічним списком: **Собственный банк данных**, **Каталоги DIALux**, **Online каталоги**, **Использованные раньше светильники**. Вибір бази даних проводиться подвійним клацанням, інтерфейс знаходження і вибір конкретного світильника залежить від конкретного виробника.

Онлайн каталоги за підключення до мережі Інтернет дозволяють користувачу проглянути каталог світильників і одержати його опис безпосередньо з сайту виробника. Для використання **Каталоги DIALux** конкретної фірми вони мають бути встановлені як PlugIn (рис. 2.29).

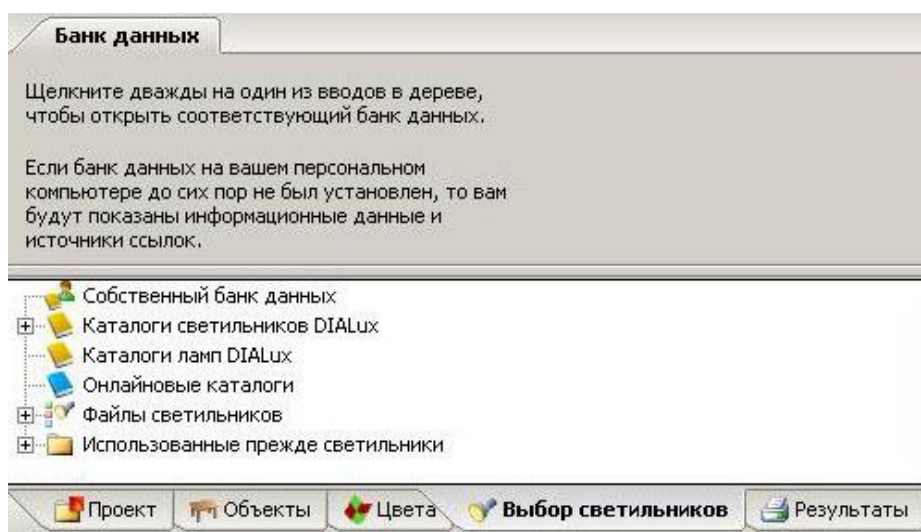


Рисунок 2.29 – Каталоги DIALux

Власний банк даних дозволяє зберігати світильники різних виробників, що часто використовуються в проектах, і так само імпортувати (кнопка Import) світильники з описом (КСС) у файлах текстового формату *.IES, *.LDT і *.CIB із відповідної директорії (рис. 2.30).

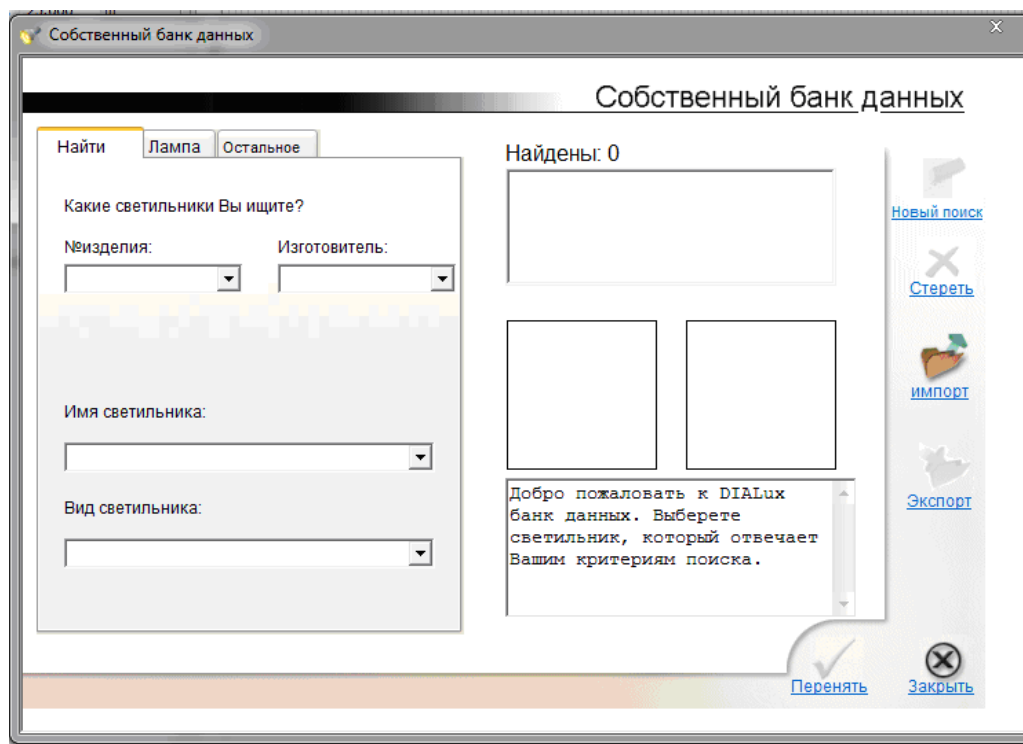


Рисунок 2.30 – Власний банк даних

Вибір онлайн каталога СП:

– виберіть закладку **Выбор светильников** у вікні **Менеджер проекта**;

– подвійним клацанням у списку світильників розкрийте панель **Собственный банк данных**;

– у списку № виробу закладки **Найти** вкажіть «*» – будь-що. Справа висвітиться список знайдених у базі світильників. Виберіть світильник, який буде застосовуватися в проекті, із списку **Найдены** і натисніть кнопку **Перенять**;

– можна вибрати ще декілька інших типів світильників для локального освітлення окремих місць спортивної споруди.

– закрийте вікно – кнопка **Закреть**.

Під час проектування освітлення футбольного поля введення світлових приладів було виконано у такий спосіб:

– вхід у вкладинку **Выбор светильников: каталоги DIALux**.

– з переліку запропонованих програмою онлайн-каталогів був вибраний *General Electric Lighting* (рис. 2.31).

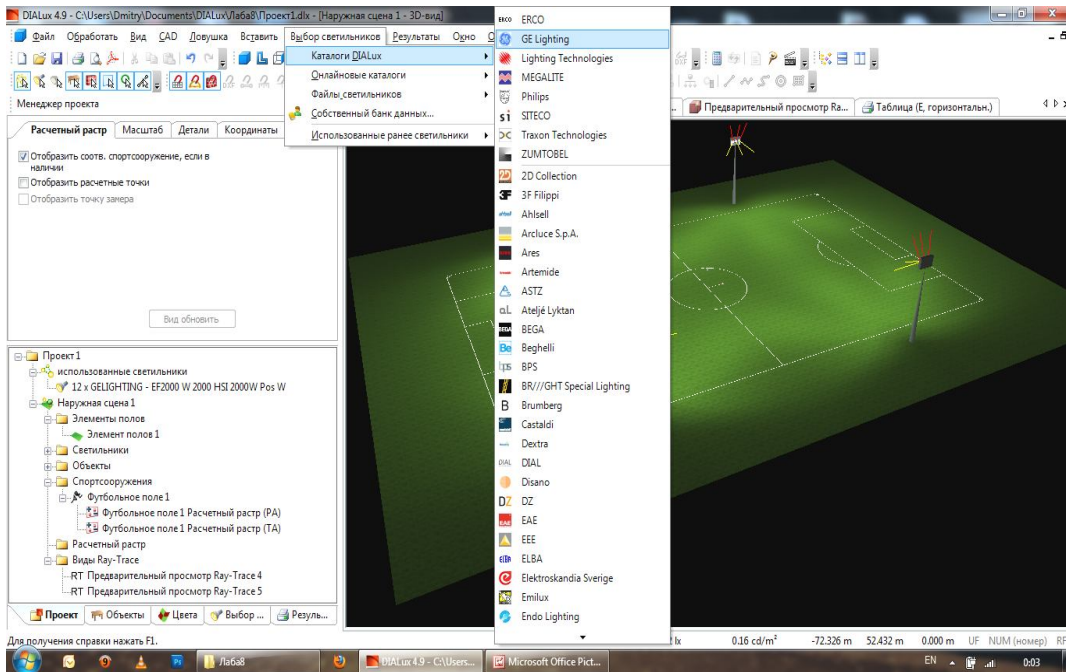


Рисунок 2.31 – Вибір онлайн-каталога СП

Із переліку світлових приладів вибираємо той, що відповідає призначенню спортивної споруди, і натискаємо *Добавить в проект* (рис. 2.32).

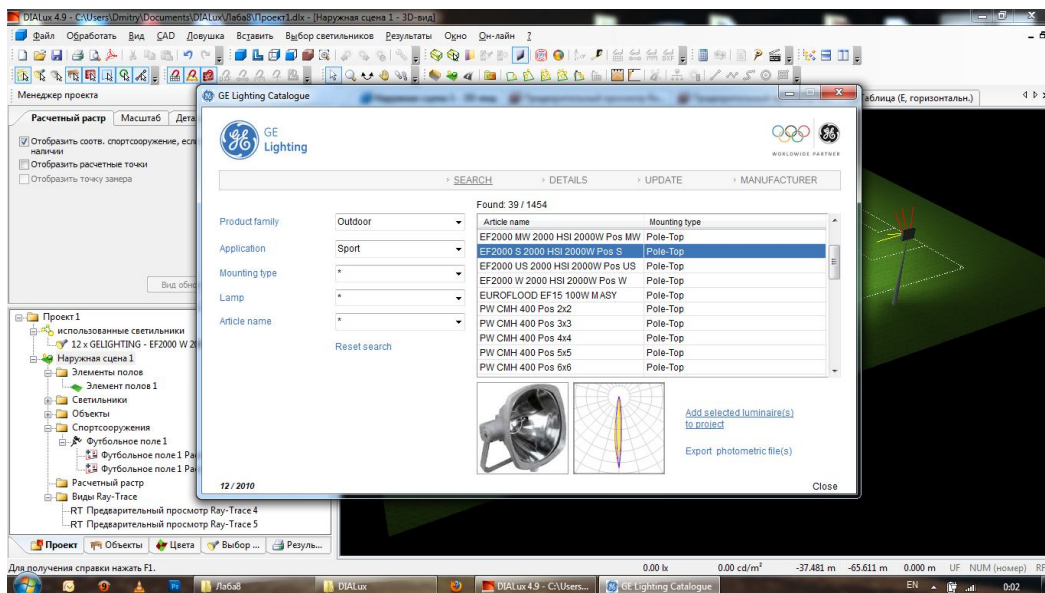


Рисунок 2.32 – Вибір світлового приладу

Надалі у вікні *Позиция/Вращение* вказуємо координати установки СП (за необхідності положення СП можна змінити за допомогою миші). Кожен СП може бути зорієнтований за допомогою миші або за допомогою *Позиция/Вращение*.

10. Останній етап – розрахунок. Заходимо у командному меню в **Результаты: Запустить расчет** (рис. 2.33).

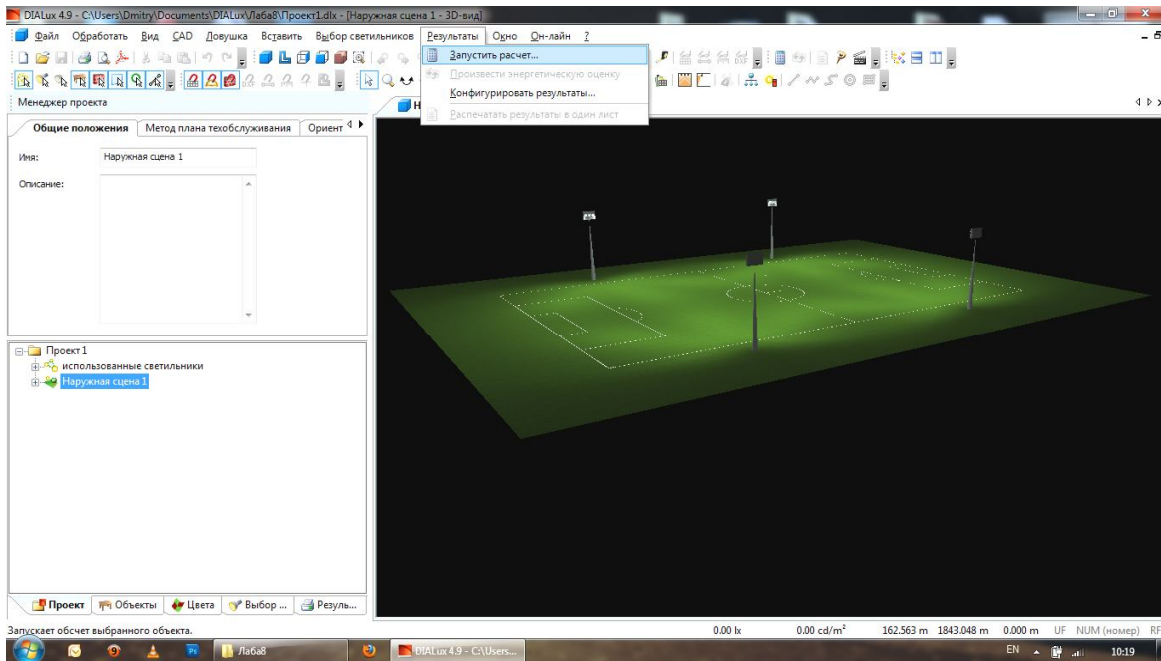


Рисунок 2.33 – Розрахунок освітленості футбольного поля

11. Для уяви більш точної картини об'єкта ми можемо зробити візуалізацію за допомогою трасувальника POV-Ray (рис. 2.34, 2.35).

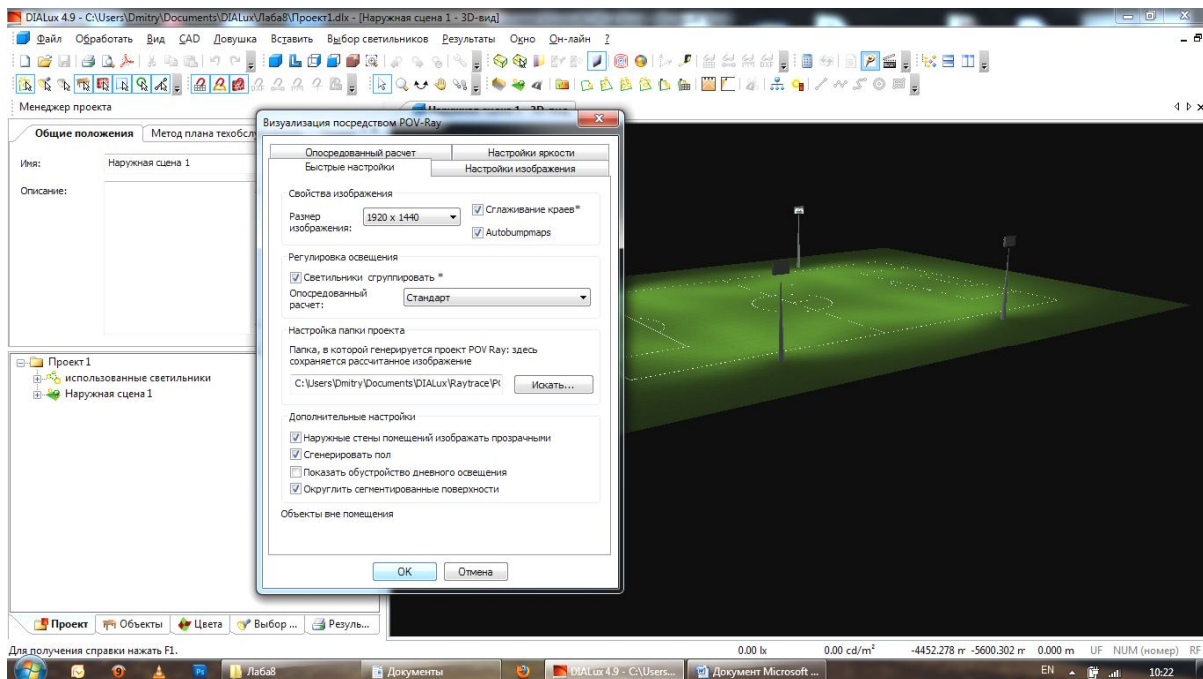


Рисунок 2.34 – Вхід до трасувальника POV-Ray

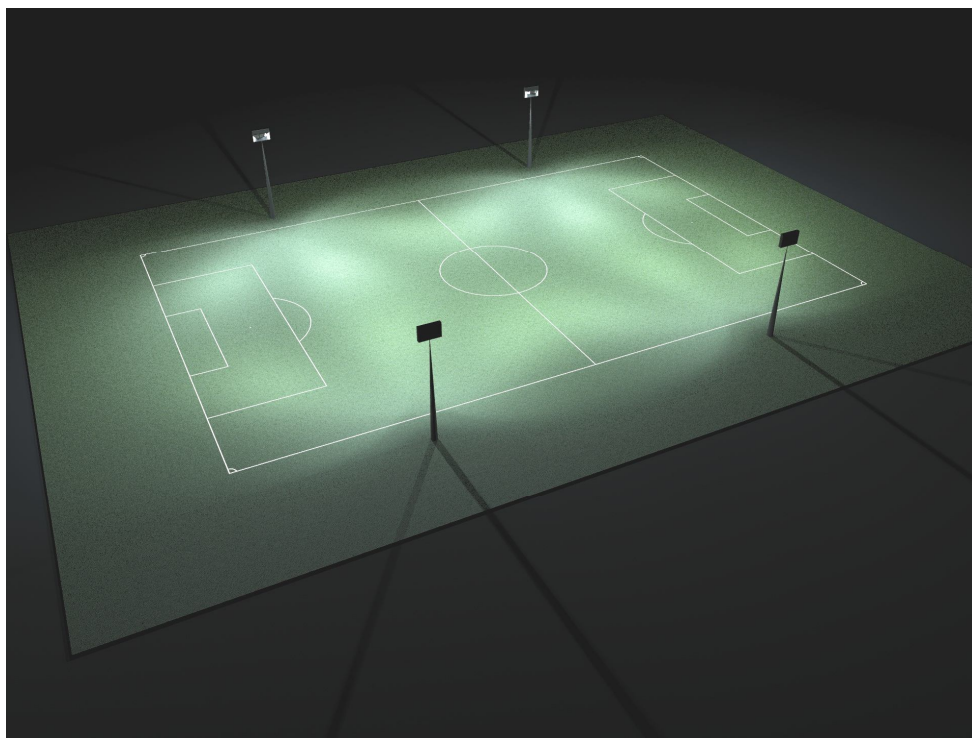


Рисунок 2.35 – Візуалізація за допомогою трасувальника POV-Ray

Аналіз результатів розрахунку

Найважливіша перевага програми DIALux – можливість різних форм подання результатів розрахунку, що дозволяє проводити глибокий світлотехнічний аналіз. Для розглядання результатів розрахунку необхідно вибрати закладку *Результаты* вікна *Менеджер проекта*. Результати розрахунків зібрані в групи:

- загальні для проекту – «TEST»;
- світильники та їхні характеристики, що використовуються: в нашому випадку це – GE EF2000S2000;
- TEST_ROOM, де інформація так само згрупована;
- загальна, для всього приміщення, разом із інформацією про розрахункові точки.

Результати розрахунку по кожній поверхні 3D сцени:

- ізолінії;
- градації сірого;
- графіки значень;
- таблиця значень.

Усі результати можуть бути подані як за освітленістю (E), так і за яскравістю (L).

Для розглядання результатів необхідно клацнути по відповідному елементу списку. Програма перейде до підготовки результатів розрахунку, на що потрібно якийсь час. Чекайте. Після відображення результату у вікні **Инспектор** стають доступні параметри цього типу подання результатів: крок сітки, товщина ліній, відображення світильників, меблів і т. д. Кожен елемент у списку видачі має два прапорці: значок принтера означає включення до складу вихідної документації (встановлюється клацанням по полю прапорця) і червона галочка на значку листу, що означає доступність цього типу інформації.

Наголосити на роздрукованих сторінках можна і у властивостях у вікні **Инспектор** під час вибору елементу **TEST**. Водночас створений список сторінок звіту можна зберегти на диску, що дозволить позбавити від необхідності формування звіту кожного разу, до того ж, дозволяє створити декілька типів звітів для різних цілей.

Увесь звіт у друкованій формі можна проглянути за допомогою **Главное меню -> Файл -> Предварительный просмотр**. Після перегляду звіт можна роздрукувати як на принтері, так і на диску у форматі *.PDF, зручному для пересилання за електронною поштою (рис. 2.36).

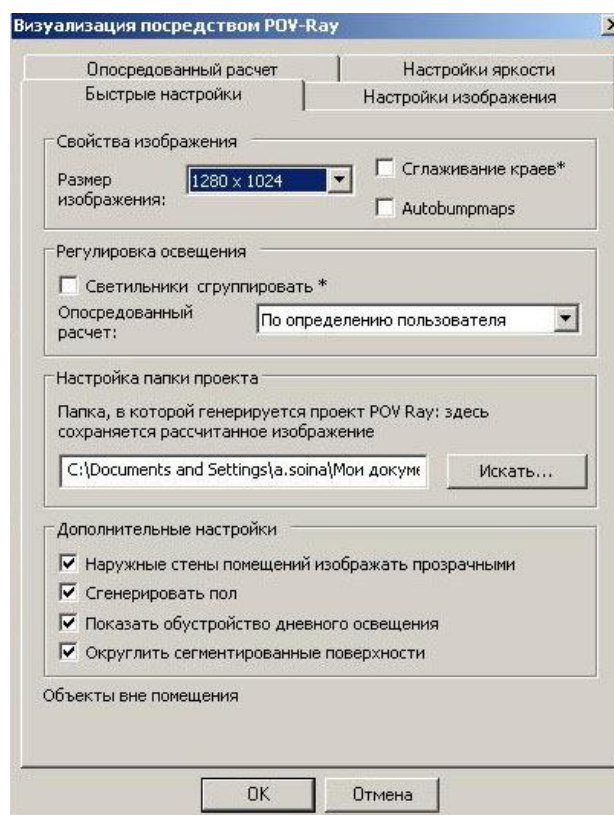


Рисунок 2.36 – Вікно налагоджування візуалізації

Візуалізація сцени розрахунку ОУ

Зображення 3D-сцени в CAD-вікні є відображення результатів розрахунків освітлення приміщення методом випромінюваності, що не дозволяє врахувати дзеркальне відбиття, пропускання та шорсткість поверхонь і одержати фотореалістичне зображення. Фотореалістичне зображення ОУ в програмі DIALux отримується за допомогою сторонньої програми-трасувальника проміння POV-Ray (Persistence Vision Raytracer), спеціально адаптованої до задач DIALux.

Запуск трасувальника здійснюється натисненням кнопки трасувальника POV-Ray на лінійці інструментів, що спричиняє виведення на екран панелі установки параметрів трасування проміння (рис. 2.37).

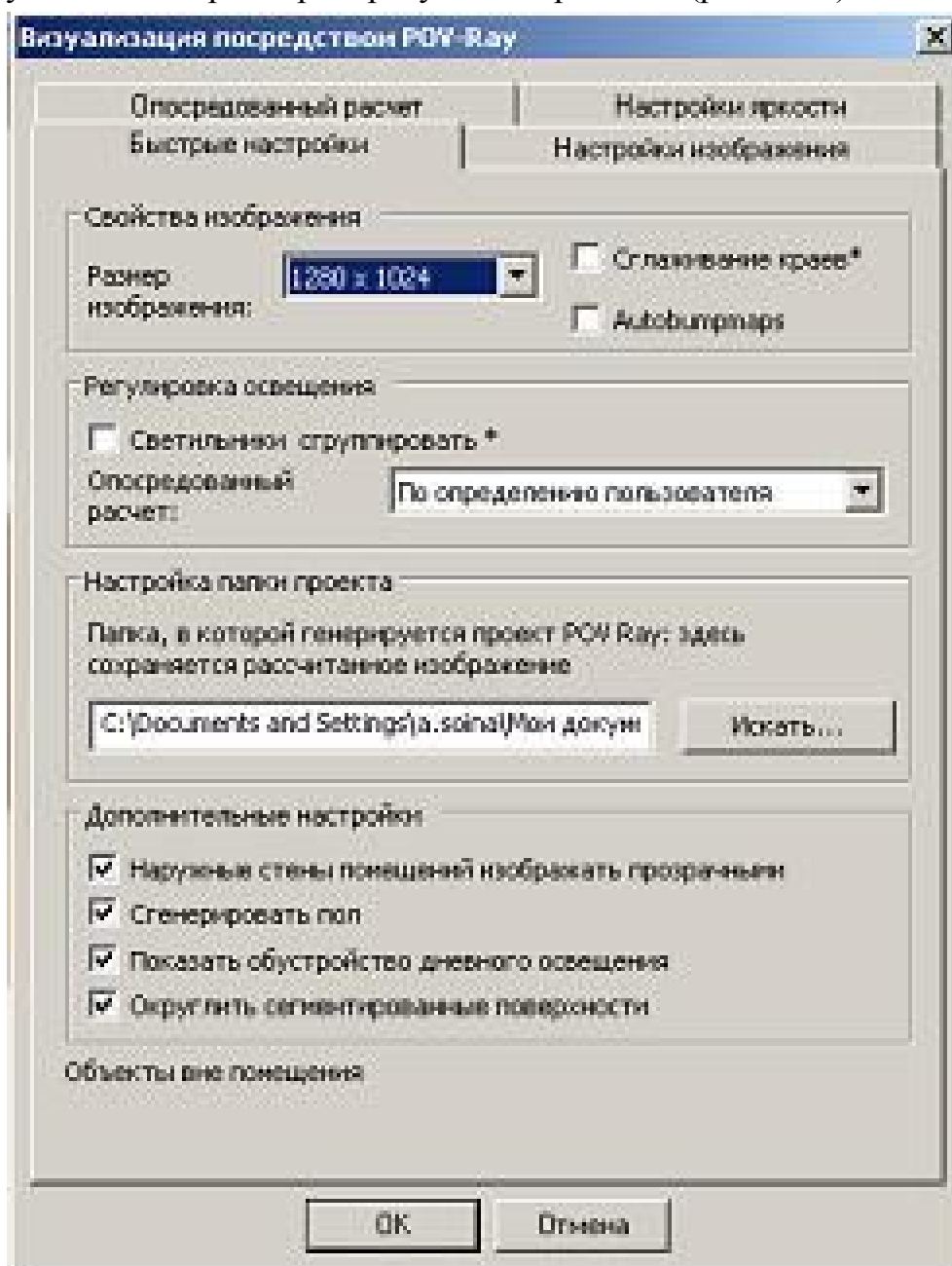


Рисунок 2.37 – Налаштування швидких настройок візуалізації

Закладка Швидкі налаштування

Група Властивості зображення

Розмір – у пікселях.

Прапор *Сглаживание* – згладжування нерівностей растрування.

Прапор *Autobumpsmaps* – генерація нерівностей текстури.

Група Регулювання освітлення

Прапор *Светильники сгруппировать* – розбиття світильників на частини.

Список *Опосредованный расчет* – визначає точність розрахунку перевідбитого випромінювання.

Група Налаштування теки проекту

Місце на жорсткому диску директорії розміщення файлів підсумкового рендерингу.

Група Додаткові налаштування

Прапор *Наружные стены* приміщення зображати прозорими – відбракуння нелицьових граней.

Прапор *Сгенерировать пол* – облік відбиттів від підлоги.

Прапор *Показать обустройство дневного освещения* – зовнішні елементи сцени.

Прапор *Округляют сегментированные поверхности* – округлення сегментованих поверхонь.

Закладка Налаштування зображення

Поля *Размер изображения* в пікселях – однозначно пов'язаний з властивостями зображення.

Закладка *Опосредованный расчет*:

Прапор *Использовать Radiosity* – еквівалентно вибору в списку Опосередкований розрахунок, закладки *Основные параметры* поля *Деактивация*.

Поле *count* – кількість проміння, чим більше, тим вище опрацювання деталей сцени.

Поле *error_bound* – оцінка похибки розрахунку, істотно покращує розрахунок деталей, але може призводити до помилкових контурів – необхідно збільшувати *count*.

Поле *pretrace_start* – початковий розмір елементів перегляду.

Поле *pretrace_end* – кінцевий розмір елементів перегляду.

Поле *gray_threshhold* – зниження насиченості кольору завдяки багатомірним відбиттям.

Закладка **Настройки яркости:**

Поправочний – змінюється від 0 до 10.

Значення менше 1 затемнює зображення, у світлих місцях видно більше деталей.

Значення більше 1 освітлюють зображення, у темних місцях видно більше деталей.

Проведіть візуалізацію сцени, натискаючи ОК. Після виконання візуалізації Ви одержите растрове зображення, яке буде передане в задану в групі **Настройки панки проекта** директорію.

Сцени освітлення і елементи управління

Програма DIALux, починаючи з четвертої версії, підтримує динамічне управління освітленням відповідно до стандарту DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

У DIALux існує можливість об'єднувати світильники в групи, водночас задавати параметри їхнього увімкнення і вимкнення, встановлювати так званий «ступінь затемнення» для покрокової зміни кількості світла в 3D-сцені.

Для керування освітленням у програмі використовуються **Елементи управління**, які дозволяють регулювати ступінь затемнення, колір світла, нахил, положення і КСС світильників, що знаходяться в певній групі.

Отже, маючи декілька різних за властивостями елементів управління та об'єднавши їх в окрему групу, названу **Сцена освітлення**, можна моделювати автоматичне керування освітленням.

У DIALux існує низка правил (обмежень):

– будь-який світильник або група світильників можуть бути додані в **Елемент управління**;

– світильник може входити в декілька груп елементів управління;

– сцена освітлення може містити один або декілька елементів управління, проте в одній сцені не можуть бути одночасно елементи управління, що включають однакові світильники.

Щоб наочно продемонструвати регулювання освітлення в DIALux:

1. Виділіть поле світильників клацанням миші в CAD-вікні або в **Менеджер проекта**.

2. Праве клацання -> **Разделить**.

3. Програма виведе запит «Через поточні зміни результати розрахунків по наступних сценах недійсні: TEST_ROOM. Продовжити або ігнорувати результати розрахунків? (Ігнорування результатів розрахунку необоротно)». Натисніть *Да*. У Вас з'явиться в проекті дев'ять незалежних світильників.

4. Виділіть усі світильники, розташовані по периметру аудиторії – 8 світильників.

5. У *Линейка инструментов* вибираємо *Вставить -> Элемент управления* або за допомогою контекстного меню по правій кнопці миші *Добавить* до елемента управління *-> Новый элемент управления*. Новий *Элемент управления* з'явиться в *Менеджер проекта* з відповідними властивостями в *Инспектор*.

6. Виділіть *Новый Элемент управления* в *Менеджер проекта* і у властивостях *Инспектор* вкажіть ім'я – *Периметр*.

7. Аналогічно створіть *Элемент управления* під ім'ям – *Середина*, у який внесіть світильник, що залишився.

8. Потім необхідно створити сцену освітлення, для цього можна скористатися одним з трьох шляхів:

Заходимо в головне меню і вибираємо *Вставить -> Сцена освещения*.

З контекстного меню правим клацанням у *Менеджер проекта* на рядку приміщення TEST_ROOM вибрати *Ввести сцену освещения* кнопкою *Новая сцена освещения* з лінійки інструментів.

9. У властивостях Інспектора на закладці Сцени освітлення задайте ім'я сцени – *Освещение по периметру*. Прибравши прапорець на закладці *Коэффициент дневного света*, можна включити в сцену денне світло, встановивши прапорець – *При расчете принимать во внимание дневной свет*. На закладці Значення затемнення поданий список коефіцієнтів затемнення, який можна редагувати. Задані коефіцієнти затемнення можна вивести в САД-вікні по кнопці – *Показать значение затемнения в САД* або через головне меню – *Вид*.

10. За допомогою контекстного меню по правій кнопці на рядку *Элементы управления -> Периметр -> Добавить в сцену освещения* або на рядку відповідної *Сцены освещения – Освещение по периметру -> Ввести элемент управления*.

В *Инспектор* на закладці *Значение затемнения* доступні значення коефіцієнтів затемнення, а на закладці *Цвет освещения* визначається колір візуалізації в POV-RAY.

11. Аналогічно створіть сцену освітлення в центрі під ім'ям – *Освещение* в середині й увімкнуть в неї елемент управління – *Середина*.

12. Розрахуйте сцену освітлення.

13. На 3D-виді, що відкрився, буде *Сцена Освещение в центре*. Для перемикання відображення сцен можна скористатися кнопками *Предыдущая/Следующая сцена* освітлення на лінійці інструментів або правим клацанням -> *Использовать сцену освещения для САД*.

Природне освітлення

Світлові моделі в програмі DIALux відповідають CIE 110-1994 "Spatial Distribution Daylight – Luminance Distributions Various Reference Skies". Отже, кожній точці неба задана певна яскравість, яка залежить від положення Сонця, пори року і доби. Для розрахунків денного освітлення в проекті має бути присутнім окрема *Сцена освещения* (рис. 2.38).

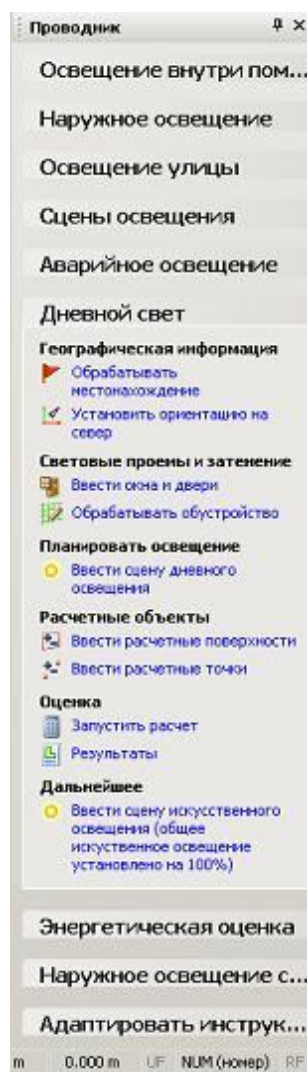


Рисунок 2.38 – Налаштування сцени освітлення

1. Створіть нову сцену освітлення під ім'ям – *Естественное освещение*.

2. В *Инспектор свойств элемента TEST* в *Менеджер проекта* на закладці *Место размещения* можна задати положення точки на Земній кулі з списку *Место размещения – Moscow*.

3. У *Инспектор свойств элемента* сцени *Естественное освещение* в *Менеджер проекта* на закладці *Место размещения* задайте прапорець *При расчете принимать во внимание дневной свет* і зніміть прапорець *Рассчитать индекс дневного освещения*, якщо він встановлений.

4. У списку *Модель неба* виберіть *Чистое небо* і поставте прапорець *Прямой солнечный свет*.

5. Виділіть елемент TEST_ROOM у *Менеджер проекта* і в *Инспектор* на закладці *Ориентация* (інакше командою з *Проводник – Установить ориентацию на север*) встановіть *Ориентация* на 45. В кожній сцені освітлення напрям на північ визначається стрілкою на вигляді в CAD-вікні. По кнопці *Визуализация* сонячного світла і тіні в CAD-вікні виводиться розподіл світла та тіні засобами OpenGL, а в *Инспектор* відкривається закладка з двома движками: часу доби та року. Параметри пропускання світла склом встановлюються при виділеному елементі *Окно* в *Инспектор* на закладці *Коэффициент дневного света* і дозволяє врахувати пропускання світла склом, забруднення приміщення і затінювання елементами рами. Для всіх значень можливе чисельне введення і вибір з якісного списку. Усі значення задаються за умовчанням при вставці елементу *Окно* в приміщення. Модель неба й інші параметри денного освітлення встановлюються в *Инспектор* на закладці *Коэффициент дневного света* за виділення *Сцены освещения*.

6. Виберіть команду *Обработать обустройство* в *Проводник* в закладці *Дневной свет*, по якій можна розташувати затінювальні об'єкти перед вікнами будинку. Буде виданий запит про зміну сцени, його необхідно підтвердити. Далі в цей режим можна переходити через меню *Обработать -> Обработать обустройство*, або правим клацанням на TEST_ROOM у *Менеджер проекта* той же пункт або з використанням відповідної закладки в CAD-вікні.

7. У *Менеджер проекта* виберіть закладку *Обустройство для TEST*. У CAD-вікні розташуйте Ваше приміщення так, щоб зручно було розташовувати об'єкти перед вікном.

8. Виберіть закладку **Файлы с Мебелью** панелі **Менеджер проекта** із списку **Наружное помещение -> Здание -> Старое сооружение 1**, і розташуйте його перед вікном. Для зручності скористайтеся виглядом План.

9. Виконайте розрахунок тільки сцени природного освітлення. Оцініть відмінності, що з'явилися.

Складна геометрія освітлення

1. Збережіть проект.

2. Закрийте проект: Файл -> Закінчити.

3. Створити новий проект можна, натискаючи кнопку **Новый** або **Новое помещение, Новая наружная сцена, Новая стандартная улица** на лінійці інструментів, або меню **Файл -> Новый**, або з клавіатури Ctrl+N. Стандартний діалог, що виникає при старті DIALux, можна викликати з меню «?» -> **Показать стандартный диалог DIALux**.

Дуже ефективно використання асистентів – **Файл -> Ассистенты**:

– **DIALux Light** – дозволяє підготувати стандартний (спрощений) світлотехнічний проект і зберегти його в DIALux.

– **Импорт DWG и DXF файлов** – організовує роботу з DIALux з файлами креслень у відповідних форматах.

– **3D-импортирование и обработка** – здійснює завантаження і редагування 3D-сцен у форматі *.3DS, з подальшим розрахунком освітлення в DIALux.

– **Структуры полей и Группы линеек** – розстановка і компонування світильників по всьому приміщенню або уздовж однієї заданої лінії.

– **Ускоренная компоновка в двух вариантах**: звична – розвинений діалог, і для професіоналів – укорочений діалог.

– **Для специальных типов помещений**: склепінчасте, L-подібне, прямокутне, полігональне.

– **Ускоренное освещение улиц в двух вариантах**: компонування вулиць – теж, що і DIALux Light, тільки для вуличного освітлення, і оптимальна група вуличних світильників – набір засобів для оптимізації параметрів дорожнього освітлення для професіоналів.

Налаштування програми DIALux

Основні налаштування програми і величини, що використовуються за умовчанням, можна змінити **Файл -> Настройки -> Общие опции**, що спричинить появу панелі діалогу (рис. 2.39).

Меню *Файл* -> *Настройки* -> *Настроить панели инструментов и клавиатуру* дозволяє підігнати інтерфейс програми під користувача. Відновити початковий інтерфейс можна за командою «?» (*Справка*) -> *Восстановить операционную среду*.

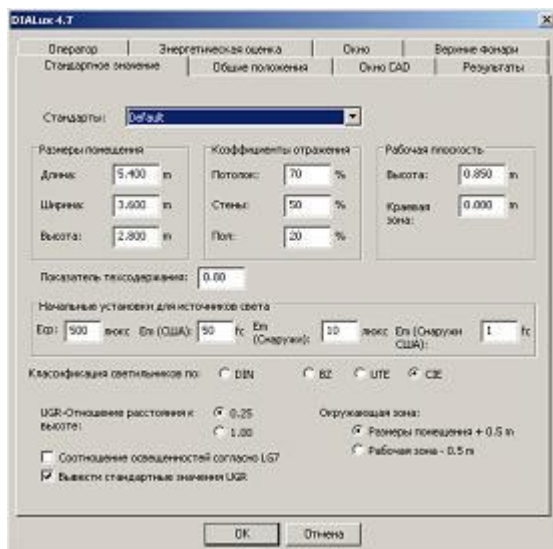


Рисунок 2.39 – Загальні налаштування

Вихід із програми DIALux

Команда *Закончить* в головному меню *Файл* або Alt + F4. У випадку, якщо Ваш проект ще не був збережений, програма запитає у Вас про збереження. Для самоконтролю використовуйте архів DIALux_test.zip.

Приклади, що ілюструють створення ОУ спортивних споруд у розглянутій програмі, наведені на рисунках 2.40, 2.41, 2.42, 2.43.

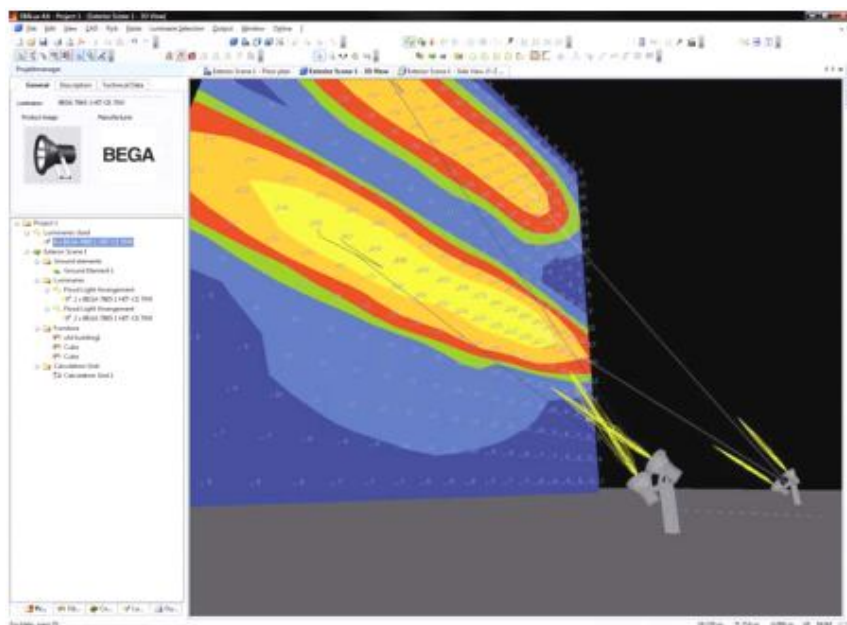


Рисунок 2.40 – Визначення розмірів щогли в реальному часі

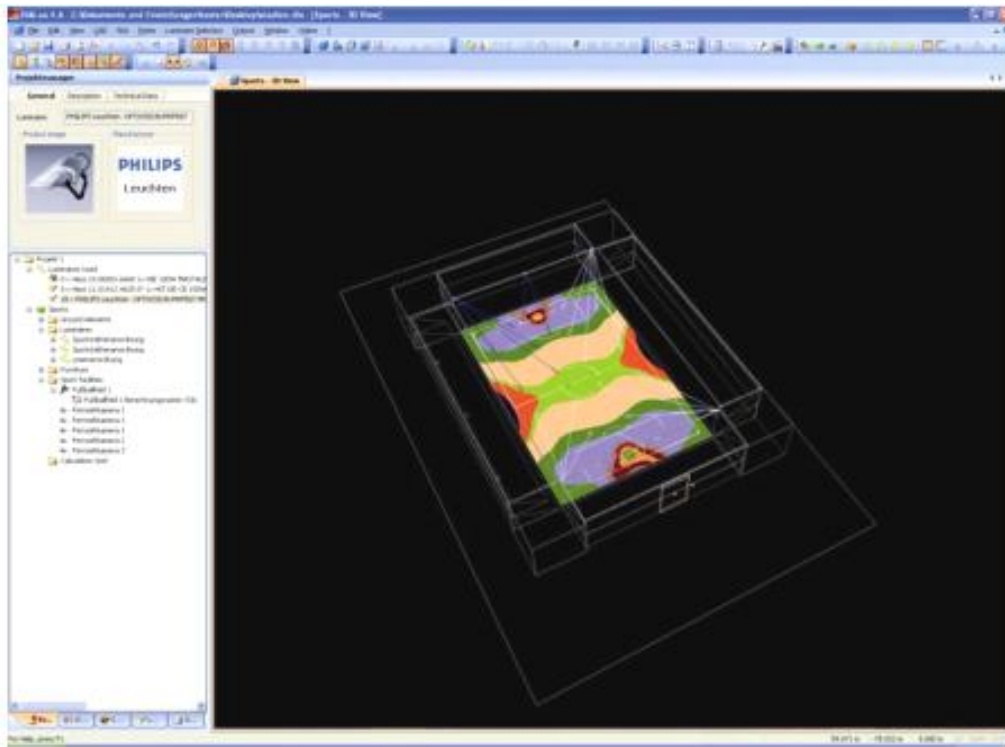


Рисунок 2.41 – Професійний рівень роботи з новими параметрами «прожектора». Світильники з різними типами ламп розташовані як дзеркальне відбиття один одного

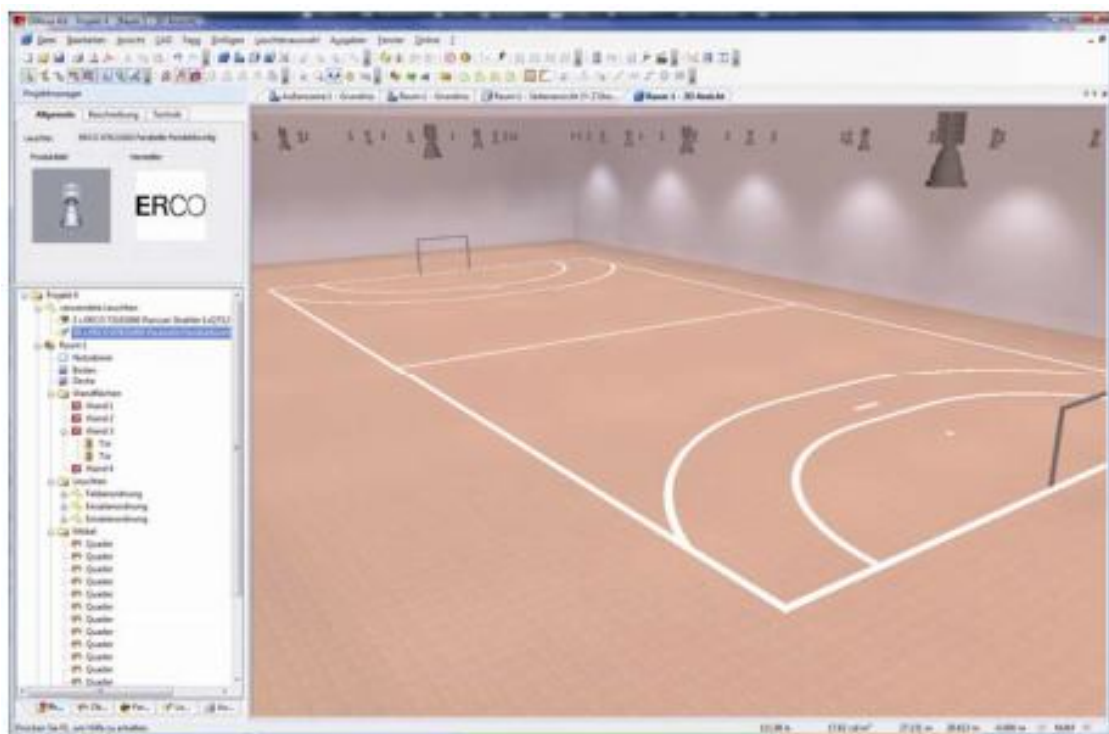


Рисунок 2.42 – Приклад системи освітлення закритої спортивної споруди в DIALux 4.6

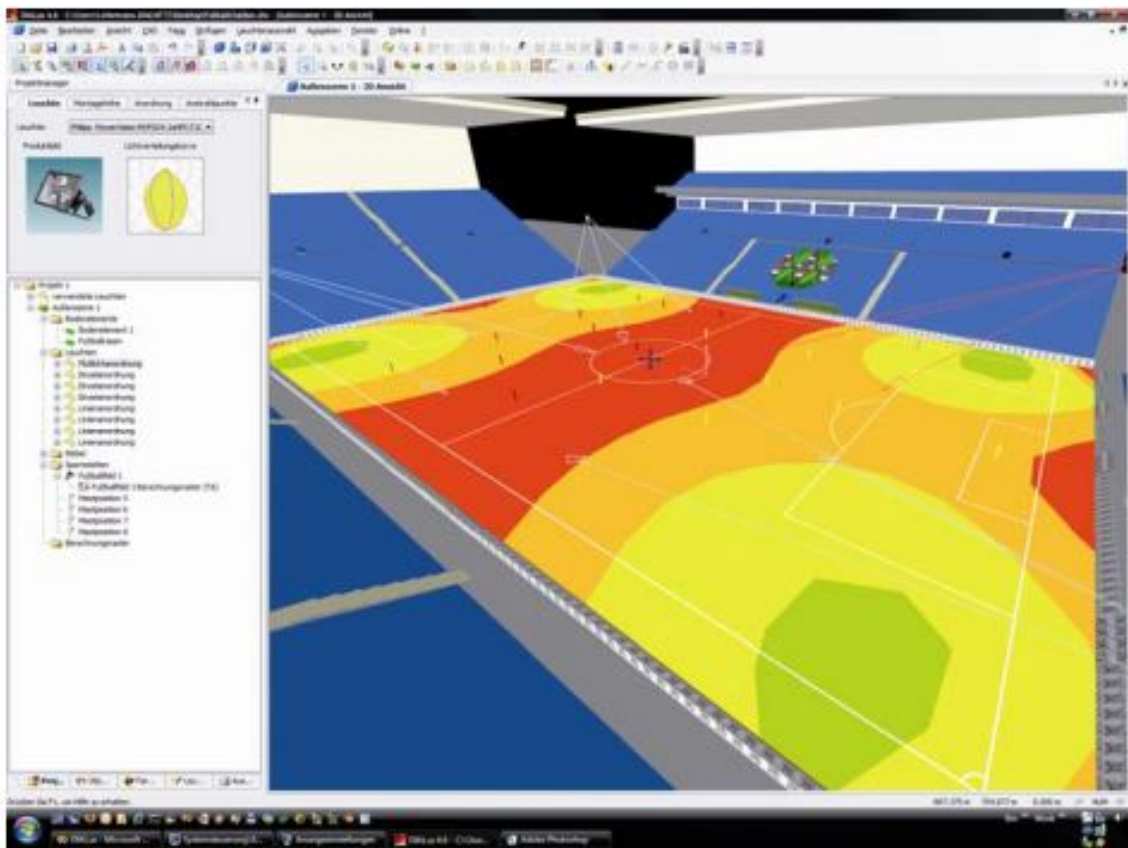


Рисунок 2.43 – Розрахунок характеристик освітлення в реальному часі

Отже, проєктувальник може без значних зусиль створити якісну та сприятливу систему освітлення.

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЯКОСТІ ОСВІТЛЕННЯ, ІЗМОДЕЛЬОВАНОГО У ПРОГРАМІ DIALUX

3.1 Нормовані якісні показники внутрішнього освітлення

У нормативних документах регламентуються чотири параметри: величина освітленості, показник дискомфорту, загальний індекс передачі кольору та коефіцієнт пульсації освітленості. Перший з цих параметрів визначає кількісний бік освітлення, три інших – якісний.

Одним із найбільш важливих якісних показників освітлення, які регламентуються нормами, є коефіцієнт пульсації K_{Π} .

Коефіцієнт пульсації характеризує відносну глибину пульсації освітленості (у відсотках) у заданій точці приміщення за живлення лампи від мережі змінного струму. Неконтрольована пульсація освітленості призводить до підвищеної небезпеки травматизму під час роботи з рухомими і, особливо, з обертовими об'єктами, а також до зорового стомлення. Критерії оцінки відносної глибини коливань освітленості в результаті зміни під час світлового потоку газорозрядних ламп за живлення змінним струмом, що виражається формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}} \times 100\%, \quad (3.1)$$

де E_{\max} , E_{\min} і E_{cp} – відповідно максимальне, мінімальне та середнє значення освітленості за період її коливання, лк.

Коефіцієнт пульсації освітленості регламентується ДБН–В 2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення» залежно від точності виконуваної роботи і вимоги цього нормативного документа повинні неухильно дотримуватися. Усі галузеві та відомчі нормативні документи щодо освітлення містять нормовані значення коефіцієнта пульсації і їхні вимоги повинні враховуватися під час проектування освітлювальних установок.

Нижче в таблиці 3.1 та таблиці 3.2 наведено мінімальні рівні освітленості робочих поверхонь і допустимого коефіцієнта пульсації світлового потоку в деяких характерних приміщеннях при загальному освітленні.

Таблиця 3.1 – Мінімальні рівні освітленості робочих поверхонь і допустимого коефіцієнта пульсації для деяких характерних приміщень для адміністративних і житлових будівель

Приміщення	Освітленість, лк	$K_{п}, \%$
Кабінети, робочі кімнати	300	≤ 15
Проектні зали, креслярські	500	≤ 10
Торгові майданчики	400	≤ 10
Аудиторії, навчальні кабінети, лабораторії в технікумах та ЗВО	400	≤ 10
Конференц-зали, зали засідань	300	≤ 20
Обідні зали ресторанів, їдалень	200	≤ 20
Перукарні	400	$\leq 10/15$

Таблиця 3.2 – Мінімальні рівні освітленості робочих поверхонь і допустимого коефіцієнта пульсації для деяких характерних приміщень для підприємств

Характеристика зорової роботи, розряд (за ДБН В.2.5–28–2006)	Освітленість, лк (за системи комбінованого освітлення)	$K_{п}, \%$
Найвищої точності, Ia	5 000	≤ 10
Дуже високої точності, IIa	4 000	≤ 10
Високої точності, IIIa	2 000	≤ 15
Середньої точності, IVa	750	≤ 20

Пульсація освітленості вважається шкідливою і може мати певні психологічні наслідки, такі як головний біль, зниження працездатності та зорове стомлення. Експериментально встановлено, що негативна дія пульсації на організм людини є малою тільки за глибини пульсації не більше за 5–6 % (за частоти 100 Гц). За частоти коливань світла 300 Гц і вище глибина пульсації не має значення, оскільки на цю частоту мозок не реагує.

Особливо небезпечною є пульсація світла за наявності в полі зору людини рухомих або обертових об'єктів, тому що в цьому випадку може виникнути стробоскопічний ефект, що створює підвищену небезпеку травматизму. Зазвичай стробоскопічний ефект може спостерігатися, якщо глибина пульсації світлового потоку більше за 20 %, але в низці випадків, коли частота пульсації світлового потоку кратна частоті обертання

або руху об'єкта, стробоскопічний ефект може виникати навіть за глибини пульсації, що незначно перевищує 5 %.

Для зниження коефіцієнта пульсації застосовують кілька способів. Найпростішим і ефективним способом усунення пульсації світлового потоку є використання світильників з електронною пускорегулювальною апаратурою. Інший спосіб увімкнення лампи в розрядні фази трифазної мережі, що знижує коефіцієнт пульсації до 6 %.

Блискучість – це властивість поверхонь, які світяться (поверхня джерела світла або відображена поверхня знаходиться в полі зору) і можуть порушити нормальний зір.

Засліпленість – неприємна дія блискучості на зір людини. Рівень засліпленості виражається коефіцієнтом засліпленості S , який визначається відношенням:

$$S = V_1 / V_2, \quad (3.2)$$

де V_1 – видимість об'єкта спостереження під час екранування блиску джерел світла,

V_2 – видимість об'єкта спостереження за наявності блиску джерел світла в полі зору.

На практиці користуються поняттям показника засліпленості, який чисельно визначається виразом:

$$P = (S-1) \times 10^3 \quad (3.3)$$

В освітлювальних установках промислових підприємств для оцінки сліпучої дії, що виникає від блиску джерел, використовується показник засліпленості. Для обмеження сліпучої дії нормами регламентується граничні значення цього показника.

Освітлювальна установка відповідає вимогам норм щодо обмеження сліпучої дії або розрахункове значення показника засліпленості менше регламентованого нормами:

$$P_{\text{расч}} < P_{\text{норм}} \quad (3.4)$$

На значення показника засліпленості впливають такі чинники:

- характер світлорозподіл у світильників і потужність ламп;
- висота підвісу світильників над робочою поверхнею і співвідношення відстані між світильниками або між їхніми рядами;
- співвідношення сторін освітлюваного приміщення.

В освітлювальних установках громадських будівель для оцінки дискомфортової блискоті джерел світла, що викликає неприємні відчуття під час розподілу яскравості в полі зору, прийнятий **показник дискомфорту М**, який визначається яскравістю світильників, тілесним кутом, під яким видно світильник становищем світильника відносно до ока спостерігача, яскравістю адаптації та кількістю світильників у приміщенні.

Показник дискомфорту М є критерієм оцінки дискомфортової блискоті, що викликає неприємні відчуття у разі нерівномірного розподілу яскравості в полі зору, виражається формулою:

$$M = \frac{L_c \times \omega^{0.5}}{\Phi_0 \times L_{ад}^{0.5}}, \quad (3.5)$$

де L_c – яскравість блискоті джерела, кд/м²;

ω – кутовий розмір блискоті джерела, стер;

Φ_0 – індекс позиції блискоті джерела щодо лінії зору;

$L_{ад}$ – яскравість адаптації, кд/м².

Під час проектування показник дискомфорту розраховується інженерним методом.

Для обмеження сліпучої дії нормами регламентується залежно від умови зорової роботи максимально допустимі значення показника дискомфорту. Його значення нормуються в точці, розташованій у середині торцевої стіни приміщення на висоті 1,5 м від підлоги. Наприклад, для офісних приміщень з комп'ютерами показник дискомфорту має бути не більше 15.

Сліпуча дія буде обмежена, якщо розрахунковий показник дискомфорту менше нормованого для цього приміщення:

$$M_{розр} < M_{норм} \quad (3.6)$$

Показник дискомфорту не регламентується для приміщень, довжина яких не перевищує подвійної висоти установки освітлювальних приладів над підлогою, і для приміщень, призначених для короткочасного перебування або проходу людей.

У стандарті МКО оцінка сліпучої дії освітлювальної установки проводиться за величиною **об'єднаного показника дискомфорту (UGR – Unified Glare Rating)**.

Об'єднаний показник дискомфорту UGR згідно з МКО визначається за формулою:

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_a} \times \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \times \omega_i}{p_i^2} \right], \quad (3.7)$$

де L_a – яскравість фону, кд/м², яка розраховується $E_{ind} * \pi^{-1}$, де E_{ind} – відбита вертикальна освітленість на рівні очей стандартного спостерігача. Відбита вертикальна освітленість на висоті лінії зору стандартного спостерігача приймається рівною відбитої вертикальної освітленості стін на певній висоті: $E_{ind} = E_{wid}$;

L_i – габаритна яскравість світної частини i -го світильника в напрямку очей спостерігача, кд/м²;

ω_i – тілесний кут світної частини i -го світильника з точки спостерігача, стер;

p_i – індекс позиції для i -го світильника, що враховує його розміщення щодо лінії зору спостерігача;

N – кількість світильників в освітлювальній установці.

У таблиці 3.3 подано взаємозв'язок між UGR і показником дискомфорту M .

Таблиця 3.2 – Взаємозв'язок між UGR і показником дискомфорту

UGR	14	19	22	25	27
M	15	25	40	60	90

У приміщеннях громадських будівель, де зорове завдання полягає у відмінності об'єкта й огляді навколишнього простору (наприклад – магазини, столові, музеї, картинні галереї і т. п.) або тільки в огляді навколишнього простору (наприклад – концертні зали, зали для глядачів театрів, файли, вестибюлі і т. п.), за умовами архітектурного оформлення необхідно створювати враження насиченості світлом.

Циліндрична освітленість $E_{ц}$ є характеристикою відчуття насиченості приміщення світлом, що визначається як середня щільність світлового потоку на бічній стороні циліндра з вертикально розташованою віссю, радіус і висота якого прагне до нуля.

У приміщеннях, де необхідно відчуття насиченості світлом, нормами, крім горизонтальної освітленості, регламентується ще й циліндрична освітленість.

Циліндрична освітленість залежить від характеристики світильників, їхнього розміщення, геометричних розмірів освітлюваного приміщення і властивостей, що відбивають стель, стін і підлоги.

Для створення насиченості світлом необхідно, щоб розрахункова циліндрична освітленість для цього приміщення була не меншою нормованої:

$$E_{ц\ расч} < E_{ц.норм} \quad (3.8)$$

Циліндрична освітленість – просторова характеристика насиченості приміщення світлом, регламентується в приміщеннях громадських будівель, де наявний огляд навколишнього простору (наприклад, концертні зали, зали для глядачів, фойє театрів, рекреації), а також додатково регламентується в приміщеннях, де визначення об'єктів проводиться за нефіксованої лінії зору при спеціальних архітектурно–художніх вимогах (наприклад, торгові зали в магазинах, виставкові зали). Нормується $E_{ц}$ за таблицею 3.4.

Таблиця 3.4 – Норми циліндричної освітленості

Вимоги до насиченості приміщення світлом	Циліндрична освітленість, не менше, лк
Високі	100
Нормальні	75
Низькі	50

Моделювальний ефект. Моделювання – це баланс між дифузним і спрямованим світлом. Це загальний критерій якості освітлення, який стосуються усіх типів приміщень. Загальне враження від інтер'єру поліпшується, коли текстура, люди й об'єкти всередині освітлені так, що форма і текстура відкривається у повному обсязі. У тих випадках, коли світло падає тільки в одному напрямку, тіні достатньо добре змодельовані. Освітлення не має бути занадто спрямованим і не створювати або різкі тіні, або бути занадто дифузним, що знижує моделювальний ефект, і в результаті створює дуже монотонне яскраве оточення.

Коефіцієнт експлуатації. Під час експлуатації освітлювальної установки освітленості на робочих поверхнях зменшуються внаслідок того, що з плином часу світловий потік ламп знижується. Це викликано забрудненням, освітлювальної арматури і відбиваючих поверхонь – стін і стель. Для того щоб підтримувати значення освітленості на робочих поверхнях на рівні нормованої протягом усього часу експлуатації, її розрахункове значен-

ня має приймати більше нормованого. Це враховується коефіцієнтом запасу, $K_{\text{зап}}$, який завжди більше одиниці і характеризує кратність між розрахунковим і нормованим значеннями освітленості:

$$K_{\text{зап}} = K_{\text{расч}} / E_{\text{норм.}} \quad (3.9)$$

У зарубіжних нормах замість коефіцієнта запасу використовується коефіцієнт експлуатації K_e (maintenance factor – MF) – величина зворотна коефіцієнту запасу, $MF=1 / K_z$. Типові значення K_z і відповідно $K_{\text{зап}}$ подані в таблиці 3.5. Ці значення задаються в програмі розрахунку освітлення DIALux, на етапі введення розмірів приміщення (коефіцієнт зменшення), а також у разі необхідності редагування – у вікні менеджера проекту за активування іконки приміщення, а потім у вкладці – *Метод плану техобслуговування*.

Таблиця 3.5 – Залежність коефіцієнта запасу від типу приміщення

Тип приміщення	Коефіцієнт запасу, K_z	Коефіцієнт експлуатації, K_e
Дуже чисті приміщення, а також установки з маленьким часом використання	1,25	0,8
Чисті приміщення з трироковим циклом обслуговування	1,5	0,67
Зовнішнє освітлення, трироковий цикл обслуговування	1,75	0,57
Внутрішнє і зовнішнє освітлення у разі сильного забруднення	2,0	0,5

Показники енергоефективності та якості освітлення згідно зі стандартом EN–15193

Сьогодні велике значення приділяється обговоренню питань енергоспоживання системи освітлення будівлі. В Європі законодавство у сфері енергоефективності будівель було прийнято Єврокомісією в 2002 році і наразі чинне в усіх європейських країнах. Система освітлення є одним із споживачів енергії в будівлях. Енергоефективність нових та існуючих будівель має бути документально зафіксована в обов'язковому сертифікаті з енергоспоживання.

Значні зусилля із скорочення енергії, споживаної системами освітлення, які вживаються, повинні відповідати вимогам щодо якості освітлення. Показник LENI відображає енергоефективність освітлювального обладнання та, що найважливіше, показує необхідність ефективного керування освітленням. Неодмінною вимогою є використання природного освітлення і детектування присутності. Керування освітленням забезпечує підстроювання освітлення до вимог користувача. Якість освітлення, яка містить у собі безліч аспектів, є більше, ніж просто показник. Отже, паутиноподібний графік – це дуже корисний інструмент для відображення 5 основних критеріїв. Він допомагає фахівцям збалансувати енергоефективність і якість освітлення. Зрештою, енергоспоживання системи освітлення може знизитися, а якість освітлення – збільшитися.

Оцінка енергоспоживання проводиться за допомогою Lighting Energy Numeric Indicator (LENI) – показника, вираженого в кВт·год/м² у рік, який відображає річне споживання енергії, необхідної для функціонування систем освітлення відповідно до специфікацій будівлі. Оскільки є показник, логічно встановити також і критерії енергоспоживання, що відображено в стандарті EN–15193, що описує вимоги щодо енергоспоживання системи освітлення.

Величезне значення має і те, щоб спроектована та встановлена система освітлення відповідала рекомендованим нормам, які зафіксовані в стандарті EN–12464. Вимоги людей до якості освітлення мають ще більше значення. Ці вимоги визначаються показником якості освітлення – Ergonomic Lighting Indicator (ELI). Цей показник введено для того, щоб мати можливість врахувати одночасно безліч аспектів якості освітлення. У зазначених вище стандартах є посилення один на одного.

Показник LENI вже затверджений в стандарті. ELI увійде в керівництво з освітлення. У майбутньому він може стати звичайним інструментом оцінки якості освітлення. Між ELI і LENI має бути знайдений оптимальний баланс.

LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) – параметр енергоефективності освітлювальної установки.

Згідно з директивою ЄС 2002/91/ЄС «Енергетика будівель» (Energy performance of buildings) обов'язковою вимогою є наявність енергетичного сертифіката, який відображає загальне енергоспоживання, кондиціонування повітря, водопостачання, вентиляції, освітлення, а також систем управління.

Методика розрахунку для систем освітлення подана в стандарті EN 15193–1 «Оцінка потужності, споживаної системою освітлення» (Lighting energy estimation).

Цей стандарт враховує різні аспекти енергоспоживання:

- а) під'єднане навантаження: усі встановлені світильники;
- б) використання в денний час: управління освітленням у денний час і навантаженням;
- в) використання в нічний час: управління навантаженням;
- г) використання постійного освітлення: управління освітленням (технічний огляд).
- д) черговий режим: потужність у контрольованих елементах системи освітлення;
- е) алгоритмічне освітлення і завдання сцени для зниження енергоспоживання.

Загальна потужність, яка використовується для освітлення за рік, дорівнює:

$$W_{\text{light}} = W_L + W_p, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \quad (3.10)$$

Показник LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) був уведений для того, щоб розрахувати річне споживання енергії системою освітлення на квадратний метр площі, яка потрібна для виконання функцій освітлення відповідно до специфікацій будівлі:

$$\text{LENI} = W_{\text{light}} / A, \text{кВт}\cdot\text{год}(\text{м}^2/\text{рік}) \quad (3.11)$$

Зрозуміло, що на енергоспоживання системи освітлення може серйозно впливати на використання управління.

У стандарті використовується базова формула для зміни і розрахунку річного енергоспоживання освітлення будівлі $W_{L,t}$:

$$W_{L,t} = \Sigma \{(P_n/F_c) \cdot [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_0)]\} / 1000 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (3.12)$$

Крім того, в розрахунок енергоспоживання входить паразитна потужність для оцінки втрат у черговому режимі та потужність, необхідна для аварійного освітлення:

$$W_{L,t} = \Sigma \{ \{ (P_{PC} \times [t_y - (t_D + t_N)]) \} + (P_{EM} \times t_{EM}) \} / 1000 \text{ кВт} \times \text{год} \quad (3.13)$$

У цих формулах:

P_n – загальна потужність освітлення в зоні;

F_c – коефіцієнт постійного освітлення;

t_p – період використання паразитної потужності;

t_D – період денного використання;

F_D – коефіцієнт денного освітлення;

F_o – коефіцієнт завантаження;

P_{PC} – паразитна потужність у зоні (яка в загальному випадку означає втрати в черговому режимі);

t_y – стандартний річний час (8760 годин);

P_{EM} – загальна встановлена потужність заряду для світильників аварійного освітлення в зоні;

t_{EM} – час заряду для системи аварійного освітлення;

ELI (Ergonomic Lighting Indicator) – параметр якості освітлення.

Показник ELI використовує п'ять основних критеріїв для опису загальної якості освітлювального обладнання. Вони пов'язані з найбільш важливими аспектами людського сприйняття освітлення. Нижче перераховані п'ять критеріїв якості освітлення:

– візуальні характеристики (Visual Performance);

– перспектива, вид сцени (Vista);

– зоровий комфорт (Visual Comfort);

– життєва сила (Vitality);

– можливості впливати на освітлення (Empowerment).

Візуальні характеристики (Visual Performance) визначають, чи буде вбрання рішення щодо висвітлення відповідним для виконання зорового завдання. Відповідність вимогам стандартів є критичними для виконання зорових завдань, а отже, і виконання необхідних заходів. До візуальних характеристик відносяться наступні:

– рівень освітленості;

– рівномірність освітленості;

– індекс передачі кольору;

– відсутність жорстких тіней;

– контрастність переходів (рендеринг);

– дискомфортний блиск.

Перспектива, вид сцени (Vista) визначає перші візуальні враження. До цього критерію зараховують групу під критеріїв:

– архітектурна концепція;

- психічна концепція;
- орієнтація;
- структура сприйняття;
- матеріал;
- клас захисту.

Зоровий комфорт (Visual Comfort) визначає ергономічність взаємодії між рішенням освітлення і користувачами простору. Кімната має бути освітлена рівномірно з відповідним співвідношенням яскравості. До цього критерію зараховують групу під критеріїв:

- розподіл світла;
- пластичність, моделювання;
- відсутність відблисків;
- рівномірність освітленості в околицях візуальних заду;
- безпека;
- поєднання штучного освітлення і денного світла;
- використання електронних баластів.

Життєва сила (Vitality) визначає позитивний вплив освітлення на благополуччя людини як фізіологічно, так і біологічно. До цього критерію зараховують групу під критеріїв:

- добробут;
- активізація та стимулювання;
- циркадний ритм;
- природне світло;
- уникнення небезпеки навколишнього середовища;
- уникнення теплового випромінювання;
- електромагнітні поля.

Можливості впливати на висвітлення (Empowerment) – визначають рівень особистого вибору контролю і гнучкості світлового ренію. Датчики і системи управління допомагають користувачеві регулювати освітлення з його потреб. До цього критерію зараховують групу під критеріїв:

- особистий вплив через затемнення і комутації;
- вибір світлових сцен;
- виявлення присутності;
- денне світло в залежності контролю;
- гнучкість;
- конфіденційність.

Вони оцінюються за шкалою від 1 (погано) до 5 (прекрасно).

Кожна розмірність шкали містить кілька під критеріїв. Вони необхідні для надійного і відтвореного аналізу.

Цей метод використовується для комунікації між людьми під час здійснення проекту у середі щодо освітлення (наприклад, зв'язок між замовником і розробником). На початку обговорюються вимоги щодо висвітлення. Потім розробляється або навіть встановлюється система освітлення. І нарешті, можна виконати оцінку рішення.

Для всіх етапів можна використовувати спеціальні опитувальні листи, у яких, крім п'яти основних, зазначені 38 додаткових критеріїв.

Показник ELI є результатом перших досліджень у цій галузі; він був розроблений спільно з професором Крістофом Шірзая зі Швейцарського інституту технології (наразі він працює в Технічному університеті в Ільменау).

3.2 Якісна оцінка світлового середовища в приміщеннях за критерієм насиченості світлом

Проводячи дослідження з оцінювання освітленості робочого місця, вчені зробили висновок, що показник освітленості робочої поверхні, особливо в разі роботи з об'ємними об'єктами розрізнення, не є достатнім для правильної оцінки комфортності світлового середовища. Необхідно також враховувати, як освітленість цієї поверхні була створена: правильне освітлення, співвідношення загального і місцевого освітлення, напрямок світла й утворення тіней. Було виявлено, що кількість світла необов'язково переходить в якість.

Теорія світлового поля вплинула на світлотехніку, насамперед у галузі штучного освітлення. У 1971 р. професором М. М. Епанешниковим разом із Т. Н. Сидоровою були проведені експерименти з оцінювання якості штучного світлового середовища за допомогою просторових характеристик світлового поля і зокрема нової, введеної професором М. М. Епанешниковим, характеристики – циліндричної освітленості (далі – $E_{\text{Ц}}$) [5]. На підставі результатів цих експериментів циліндрична освітленість була введена в нормування штучного освітлення для характеристики насиченості світлом приміщень громадських будівель.

Сьогодні завдяки такій теоретичній базі стає можливим регулювати не тільки насиченість світла, його рівні в приміщенні, але також його моделювання і спрямованість.

Направлене освітлення може бути використано для підсвічування об'єкта, виявлення текстури і виділення людей усередині простору. Це описано терміном «моделювання». Направлене освітлення зорового завдання може також посилити його видимість.

Циліндрична освітленість – просторова характеристика насиченості приміщення світлом, регламентується відповідно до [2] у приміщеннях громадських будівель, де наявний огляд навколишнього простору, а також додатково регламентується в приміщеннях, де розрізнення об'єктів проводиться за нефіксованої лінії зору за спеціальних архітектурно-художніх вимогах. Нормовані значення цього параметра наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Нормовані значення циліндричної освітленості для різних рівнів насиченості світлом

Вимоги до насиченості приміщень світлом	Циліндрична освітленість, не менше, лк
Високі	100
Нормальні	75
Низькі	50

Як зазначено в [2], мінімальне значення $E_{ц.ср}$ у будь-який момент часу експлуатації системи освітлення (як на початку, так і перед плановим обслуговуванням) має бути не менше за 50 лк. У приміщеннях, де необхідна безперешкодна візуальна комунікація (офіси, переговорні, навчальні класи та аудиторії), величина $E_{ц.ср}$ на рівні осіб повинна підтримуватися на рівні 150 лк. Підкреслюється, ці вимоги належать до статистично прийнятної висоти розташування очей людини, що сидить (1,2 м) або стоїть (1,7 м). Рекомендована рівномірність освітлення $E_{ц.мін.} / E_{ц.ср} \geq 0,1$.

У розділі 4 норм [2], подані рекомендації щодо забезпечення сприятливого моделювального ефекту освітлення стосовно до сприйняття особи людини.

Пластика особи буде добре «читатися» без створення різких тіней і «драматичного сприйняття», якщо витримати правильне співвідношення між дифузною-розсіяною і спрямованою компонентами освітлення.

Критерієм для гарного моделювання світлом тривимірних об'єктів, зокрема тіла людини і її особи, є співвідношення циліндричної і горизонтальної освітленості в певній зоні, наприклад, на рівні 1,2 м від підлоги.

Орієнтовний інтервал: $E_{ц.с} : E_{г.ср} = 0,3 \dots 0,6$.

Що стосується співвідношення вертикальної і горизонтальної освітленості, то найбільш сприятливе співвідношення – $E_v : E_g \geq 1 : 3$.



Рисунок 3.1 – Світло, що падає на обличчя з усіх боків, а не тільки в горизонтальній площині, є більш точним показником того, наскільки добре освітлене обличчя буде виглядати з будь-якого напрямку

Моделювальний ефект

Моделювання – це баланс між дифузним і спрямованим світлом. Це загальний критерій якості освітлення, що належить до всіх типів приміщень. Загальне враження від інтер'єру поліпшується, коли текстура, люди й об'єкти всередині освітлені так, що форма і текстура відкриваються повно і приємно. У тих випадках, коли світло падає тільки в одному напрямку, тіні добре змодельовані. Освітлення має бути занадто спрямованим і не створювати або різкі тіні, або бути занадто дифузним, що знижує моделювальний ефект, і в результаті створює дуже монотонне яскраве оточення. Моделювання описує здатність світла показати цілісність форми. Моделювання може бути різким або плоским, залежно від напрямку падаючого світла і кута, під яким розглядається об'єкт.

Гарне моделювання дає можливість показати тривимірність об'єктів і передати їхню текстуру. Ефективність моделювальних властивостей світла може бути визначена як співвідношення між середніми значеннями циліндричної і горизонтальної освітленості в потрібній для нас точці. Розглянемо рисунок 3.2.

Для отримання хорошого моделювання існує необхідна наявність пріоритетного напрямку світла. Спрямований потік світла, створений денним світлом, що потрапляє через віконні прорізи, або джерелами світла з асиметричними КСС, створюють природні світлові ефекти та тіні для моделювання об'єктів, текстур і людей. Напрямок світла визначає, де будуть локалізовані тіні та наскільки густо. У разі, якщо світло буде тільки пря-

мим, воно створить лише різкі тіні, у разі ж, якщо воно буде тільки розсіяним, моделювальний ефект буде повністю відсутнім.



Індекс моделювання 0,1;
гостронаправлений даунлайт
створює різкі тіні



Індекс моделювання 0,3;
гранично допустиме моделювання
в приміщеннях, у яких потрібна
висока інформативність



Індекс моделювання 0,5;
прийнятний для дитячих класів



Індекс моделювання 1,0;
виключно для театрального
освітлення

Рисунок 3.2 – Приклади моделюючого ефекту

Направлене освітлення зони зорового завдання

Освітлення певного напрямку може виявити подробиці зорового завдання, покращуючи видимість і тим самим спрощуючи зорову роботу.

Було доведено, що властивості створення тіней залежать від співвідношення прямої та дифузійної складових світлового потоку, що падають на рельєфний об'єкт і прилеглі ділянки фону. Різні ефекти можуть бути досягнуті застосуванням різних систем освітлення, а також поєднанням загального і акцентного освітлення. Необхідно враховувати доцільність застосування освітлювальної установки за низкою критеріїв.

Розглянемо варіанти поєднання освітлювальних установок загального (рис. 3.3) і акцентного (рис. 3.4) освітлення.

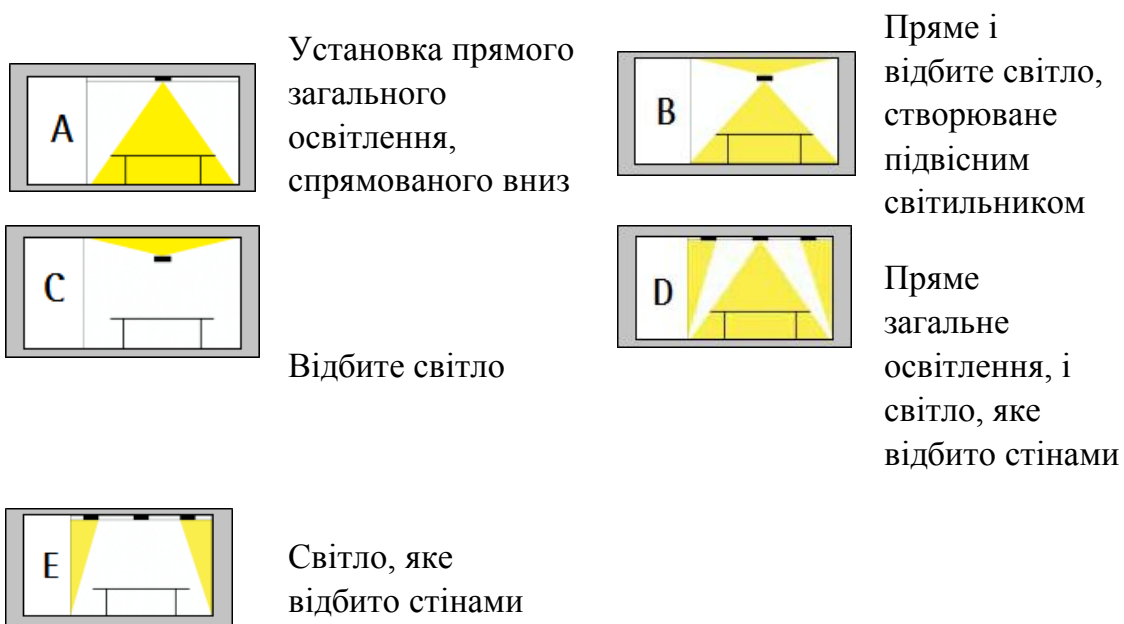


Рисунок 3.3 – Варіанти установок загального освітлення



Рисунок 3.4 – Варіанти освітлювальних установок акцентного освітлення

Поєднання зазначених типів освітлювальних установок загального й акцентувального освітлення дасть загалом 20 варіантів освітлювальних установок (рис. 3.5).

	1	6	11	16
	2	7	12	17
	3	8	13	18
	4	9	14	19
	5	10	15	20

Рисунок 3.5 – Комбінування систем загального і акцентувального освітлення

Метою дослідження було визначення оптимальної схеми освітлення за одним з критеріїв: яскравість, привабливість (візуальне сприйняття), активація працездатності, комфортність перебування.

Оцінювання проводилось за шкалою від 1 до 5. Результат 1 був кращим, 5 – гіршим.

За яскравості кращим варіантом виявився варіант номер 10. У той час, як гіршою виявилася ОУ першого варіанта, найбільш поширена в офісних приміщеннях (рис. 3.6).


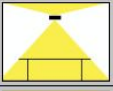
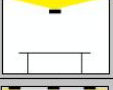

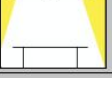
Ассет	Ассет	Ассет	Ассет	Ассет
	3.84	3.64	3.07	3.23
	3.25	3.32	2.68	2.95
	2.45	2.91	2.36	2.11
	2.39	2.52	2.43	2.02
	2.32	1.93	2.23	2

Рисунок 3.6 – Результати розрахунків яскравості, що створюється освітлювальною установкою

Візуально найбільш привабливою виявилася сцена 19 (зі значенням 2,09), найгіршою – сцена 3 (зі значенням 3,81) на рисунку 3.7.

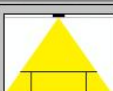
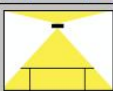
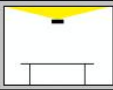

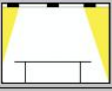
Ассет	Ассет	Ассет	Ассет	Ассет
	3.67	3.24	2.49	2.15
	3.48	3.07	2.49	2.22
	3.81	3.01	2.94	2.14
	3.2	2.78	2.36	2.09
	3.14	2.6	2.68	2.19

Рисунок 3.7 – Результати розрахунків візуальної привабливості, що створюється освітлювальною установкою

Для підтримки працездатності найкраще показали себе сцени 18 і 19 (зі значенням 2,32). Найгірше результати для сцени 3 (зі значенням 3,61) на рисунку 3.8.

	3.55	3.32	2.98	2.5
	3.27	3.07	2.82	2.48
	3.61	2.95	3.05	2.32
	3.39	2.98	2.7	2.32
	3.05	2.59	2.82	2.48

Рисунок 3.8 – Результати розрахунків освітлювальної установки для підтримки працездатності

Комфортність перебування. Кращим варіантом виявився варіант номер 19. У той час як гіршою виявилася ОУ 1 варіанта 3 (рис. 3.9).

	3.36	3.09	2.59	2.3
	3.32	2.95	2.68	2.32
	3.77	3.09	2.95	2.32
	3.18	2.93	2.57	2.23
	3.23	2.61	2.8	2.39

Рисунок 3.9 – Результати розрахунку освітлювальної установки за комфортністю перебування

Результати аналізу проведених досліджень показали, що варіант освітлювальної установки сцени 19 виявився найбільш прийнятним за низ-

кою показників. Однак, слід зазначити, що він не є єдиним правильним рішенням освітлювальних установок. Проте результати цих досліджень дозволять рекомендувати застосування відбитого стінами світла (поряд із загальним освітленням) і акцентувального освітлення для створення якісного освітлення інтер'єру (рис. 3.10).

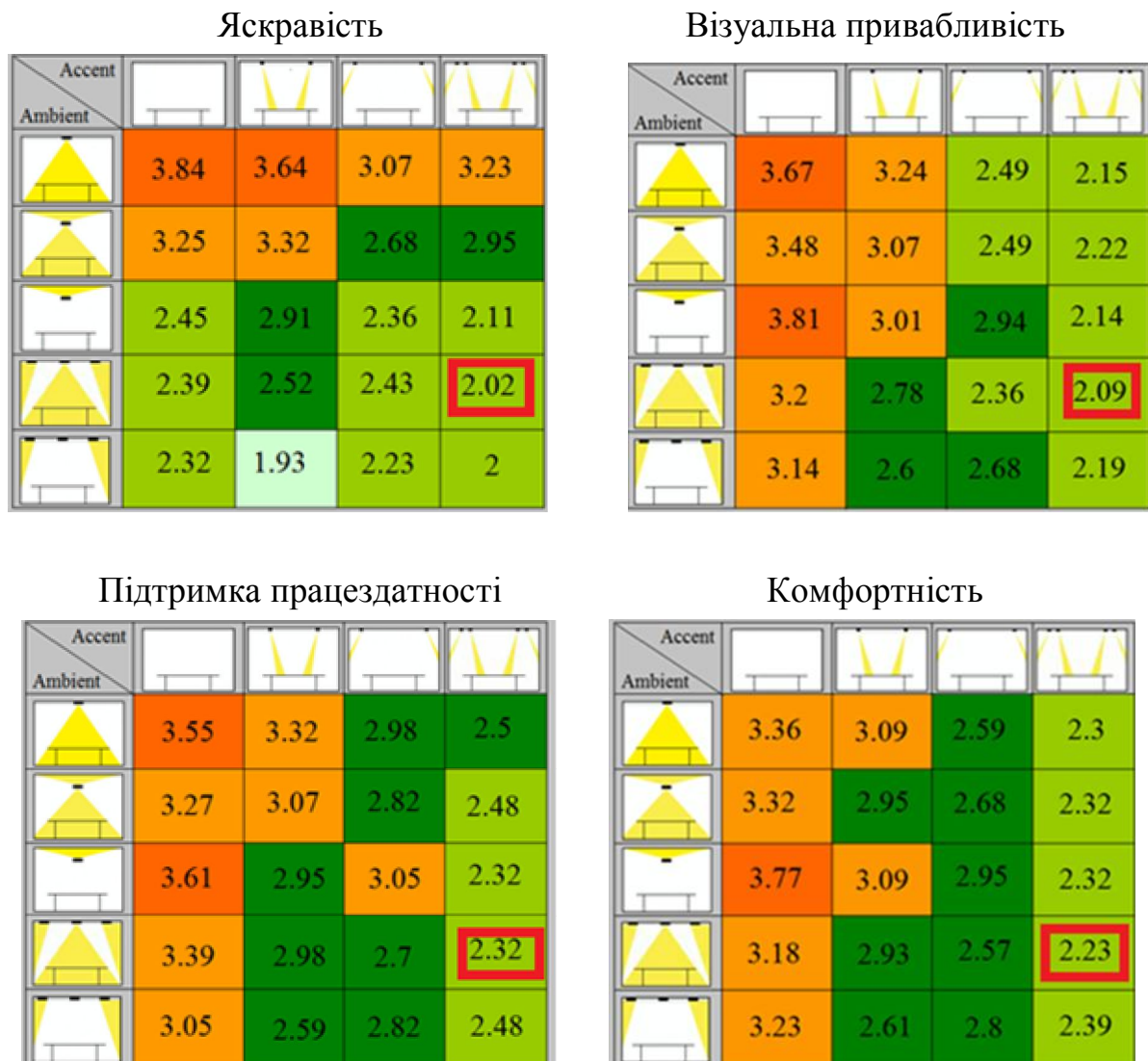


Рисунок 3.10 – Порівняння результатів розрахунку освітлювальної установки

Достатня $E_{ц}$ забезпечує необхідні умови візуальної комунікації і коректну ідентифікацію особистості. Це важливо, наприклад, в офісах із відкритим плануванням, у переговорних, конгрес-центрах, торгових центрах, на станціях метро, у пасажирських терміналах аеропортів і подібних об'єктах. Ще раз підкреслимо, що від величини $E_{ц}$ залежить насиченість приміщення світлом і суб'єктивне відчуття «світлоти» інтер'єру.

Необхідні рівні $E_{\text{ц}}$ можуть бути досягнуті, якщо до світильників прямого світла загального освітлення буде додано спрямоване освітлення стін або освітлювальні прилади відбитого світла.

Підвісні світильники, що випромінюють у нижню і верхню зони простору, завдяки відбитої компоненти світла від стелі створюють більші величини $E_{\text{ц}}$, ніж вбудовані світильники прямого світла.

Рівномірно розподілені по приміщенню стельові світильники з розсіювачами загального освітлення можуть створити цілком прийнятні умови з погляду відсутності несприятливого створення тіней і достатньої насиченості світлом.

Освітлювальна установка з поєднанням систем загального (пряме освітлення і відбите від стін світло) і акцентувального освітлення показала кращі результати за яскравістю та іншими показниками, що дає можливість рекомендувати переважно її застосування перед іншими розглянутими варіантами освітлювальних установок.

3.3 Оцінка об'єднаного показника дискомфорту в програмі Dialux

З появою на українському ринку світлодіодів і світильників значної кількості продукції з відносно низькою ціною, але водночас не завжди достатньої якості, особливо актуальним стає забезпечення комфортних і безпечних умов освітлення. У дешевій світлодіодній продукції висока габаритна яскравість без відповідної конструкції світильників із достатнім захисним кутом або розсіювачами, що екранують світловипромінювальні елементи, можуть бути джерелами високої блискості та створювати дискомфорт або навіть засліплення очей людини [1, 2].

Для своєчасної оцінки якісних характеристик системи освітлення, у яких виконується зорова робота, в європейських нормах регламентується об'єднаний показник дискомфорту [3, 4] (в українських нормах – показник дискомфорту [5]), експериментальне визначення якого неможливе, а існуюча інженерна методика розрахунку якого достатньо складна і потребує значного часу [6].

У зв'язку з цим метою дослідження було проведення аналізу об'єднаного показника дискомфорту в програмі з розрахунку і моделювання освітлювальних установок.

Методика визначення UGR для стандартного спостерігача

Заважаючою зору побічною дією штучного освітлення є пряма і відбита блискість, що виникає завдяки великому контрасту між дуже світлими і дуже темними поверхнями або при погляді на предмети, що світяться [7, 8].

Обмеження прямої блискості виконується об'єднаним показником дискомфорту UGR (Unified Glare Rating), прийнятим у міжнародній практиці для врахування сукупної дії всіх світильників у приміщенні.

Об'єднаний показник дискомфорту (Unified Glare Rating (UGR)) – міжнародний критерій оцінки дискомфортної блискості, що викликає неприємні відчуття у разі нерівномірного розподілу яскравостей в полі зору. Показник є безрозмірною величиною від 10 до 30, яку неможливо визначити фотометричними способами, можна тільки наближено обчислити.

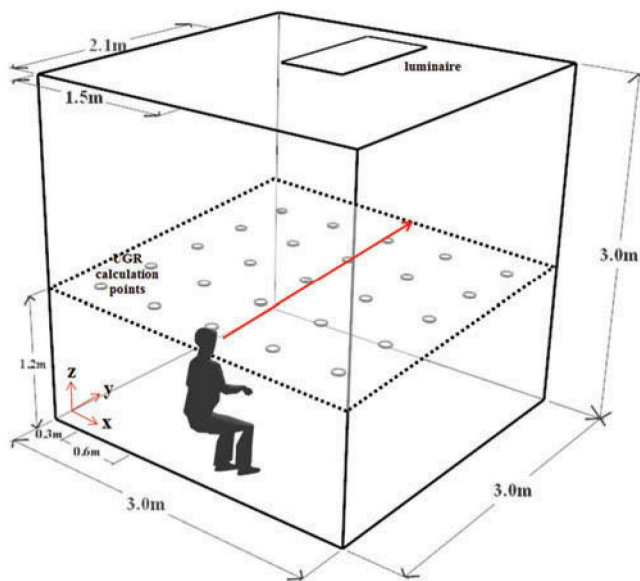


Рисунок 3.11 – Параметри для визначення об'єднаного показника дискомфорту

Об'єднаний показник дискомфорту UGR згідно з [3] визначається за формулою:

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{P_i^2} \right], \quad (3.14)$$

де L_a – яскравість фону, кд / м², що розраховується як добуток $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$, у якому E_{ind} – відбита вертикальна освітленість на рівні очей стандартного спостерігача;

L_i – габаритна яскравість світної частини i -го світильника в напрямку очей спостерігача, кд/м²;

ω_i – тілесний кут світних частин i -го світильника з точки спостереження, стер;

p_i – індекс позиції для i -го світильника, що враховує його розміщення щодо лінії зору спостерігача;

N – кількість світильників в освітлювальній установці.

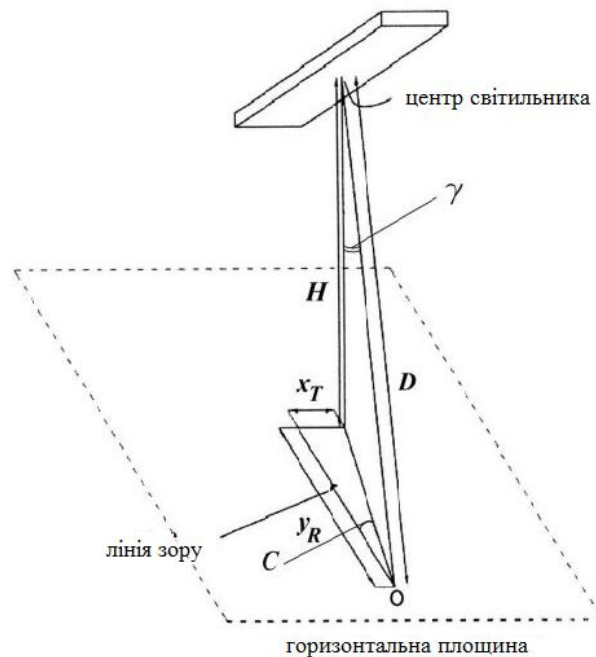


Рисунок 3.12 – Розташування центру світильника щодо стандартного спостерігача

Відбита вертикальна освітленість на висоті лінії зору стандартного спостерігача приймається рівною відбитій вертикальній освітленості стін на певній висоті:

$$E_{\text{ind}} = E_{\text{wid}}.$$

Для розрахунку об'єднаного показника дискомфорту UGR використовують формули, що визначають його через силу світла світильників у напрямку точки розташування стандартного спостерігача, значення якої містяться в фотометричних даних на світильник у форматі IES, у форматі LDT чи в стандартизованих таблицях сили світла, відстань від стандартного спостерігача до видимої площі світної поверхні світильника D , індекс

позиції світильника p і відбиту освітленість стін на висоті лінії зору стандартного спостерігача E_{WID} :

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[\frac{\pi}{4E_{WID}} \cdot \frac{I_{C\gamma_i}^2 \cdot A_i}{A_i^2 \cdot D_i^2 \cdot p_i^2} \right]. \quad (3.15)$$

За введення коефіцієнта K_i , що має вираз:

$$K_i = \frac{\pi}{4 \cdot p_i^2 \cdot D_i^2}, \quad (3.16)$$

рівняння для визначення UGR набуває такого вигляду:

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[\frac{K_i}{E_{WID}} \cdot \frac{I_{C\gamma_i}^2}{A_i^2} \right], \quad (3.17)$$

$$UGR = 8 \log \sum_{i=1}^N \left[\frac{K_i \cdot I_{C\gamma_i}^2}{A_i^2} \right] - 8 \log E_{WID}, \quad (3.18)$$

де $I_{C\gamma_i}$ – сила світла i -го світильника в напрямку стандартного спостерігача, визначається вертикальним кутом і азимутним кутом C у системі координат $OC\gamma$ з центром у точці розташування стандартного спостерігача (рис. 3.13):

$$C = \arccos \frac{x_\gamma}{y_R}, \quad (3.19)$$

де y_R – азимутальний кут;

γ – меридіанний кут, що визначається як

$$\gamma = \arccos \frac{H}{D} \quad (3.20)$$

де A – площа проекції світних поверхонь світильника на площину, перпендикулярну лінії зору відповідно до рисунку 2, яка визначається за формулами (8) при направленні лінії зору уздовж поздовжньої осі світильників і (9) при направленні лінії зору поперек поздовжньої осі світильників.

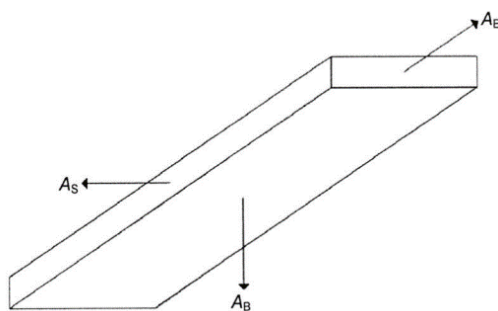


Рисунок 3.13 – Розташування світних поверхонь світильника, видимих стандартним спостерігачем

$$A = A_B \frac{H}{D} + A_s \frac{x_T}{D} + A_E \frac{y_R}{D}, \quad (3.21)$$

$$A = A_B \frac{H}{D} + A_s \frac{y_R}{D} + A_E \frac{x_T}{D}, \quad (3.22)$$

$$D = \sqrt{(H^2 + x_T^2 + y_R^2)}. \quad (3.23)$$

Відбита складова освітленості на стінах приміщення визначається за формулою:

$$E_{WID} = \frac{F_{WID} \cdot N \cdot \Phi_0}{A_W} = B \cdot F_{UWID}, \quad (3.24)$$

де F_{UWID} – коефіцієнт використання відбитих світлових потоків для стін;
 N – кількість світильників у приміщенні;
 A_W – загальна площа стін, м², між робочою площиною і площиною розташування світильників;
 $\Phi_0 = 1\,000$ лм.

$$B = 1\,000 \cdot \frac{N}{A_W}. \quad (3.25)$$

Розрахунок E_{WID} виконується на підставі табличних значень сили світла I_{Cy} залежно від азимутального кута C з інтервалом у 15° (від 0° до 345°) і залежно від меридіонального кута γ з інтервалом 5° (від 0° до 180°) у такій послідовності.

Зональні потоки $\Phi_{z1.1}$, $\Phi_{z1.2}$, $\Phi_{z1.3}$ і $\Phi_{z1.4}$ визначаються за формулами:

$$\Phi_{z1.1} = \Phi_{зон(0^\circ-40^\circ)} + 0,13 \cdot \Phi_{зон(40^\circ-50^\circ)}$$

$$\Phi_{z1.2} = \Phi_{зон(0^\circ-60^\circ)}$$

$$\Phi_{z1.3} = \Phi_{зон(0^\circ-70^\circ)} + 0,547 \cdot \Phi_{зон(70^\circ-80^\circ)}$$

$$\Phi_{z1.4} = \Phi_{зон(0^\circ-90^\circ)},$$

де $\Phi_{зон(0^\circ-40^\circ)}$, $\Phi_{зон(40^\circ-50^\circ)}$, $\Phi_{зон(0^\circ-60^\circ)}$, $\Phi_{зон(0^\circ-70^\circ)}$, $\Phi_{зон(70^\circ-80^\circ)}$ і $\Phi_{зон(0^\circ-90^\circ)}$ – зональні потоки в межах (від 0° до 40°), (від 40° до 50°), (від 0° до 60°), (від 0° до 70°), (від 70° до 80°), і (від 0° до 90°) відповідно.

Загальний зональний потік розраховується як

$$\Phi_{zL} = \Phi_{z1.1} \cdot F_{GL.1} + \Phi_{z1.2} \cdot F_{GL.2} + \Phi_{z1.3} \cdot F_{GL.3} + \Phi_{z1.4} \cdot F_{GL.4}, \quad (3.26)$$

де $F_{GL.1} \dots F_{GL.4}$ – геометричні фактори відповідно для кожної із зон, для яких розраховувалися зональні світлові потоки.

Визначення коефіцієнтів розподілу світлового потоку для площини стандартного спостерігача F_{DF} , для стін F_{DW} і для стелі F_{DC} виконується за формулами:

$$F_{DF} = \frac{\Phi_{zL}}{\Phi_0},$$

$$F_{DW} = R_{DLO} - F_{DF},$$

$$F_{DC} = R_{ULO},$$

де R_{DLO} – коефіцієнт корисної дії світильника в нижню напівсферу;

R_{ULO} – коефіцієнт корисної дії світильника в верхню напівсферу.

Розраховується коефіцієнт використання для стін F_{UWID} :

$$F_{WID} = F_{DF} \cdot F_{T,FW} + F_{DW} \cdot (F_{T,WW} - 1) + F_{DC} \cdot F_{T,CW}, \quad (3.27)$$

де $F_{T,FW}$ – коефіцієнт передачі світлового потоку від розрахункової поверхні до стіни;

$F_{T,WW}$ – коефіцієнт передачі світлового потоку від стіни до стіни;

$F_{T,CW}$ – коефіцієнт передачі світлового потоку від стелі до стіни.

Як видно, з викладеного вище матеріалу, об'єднаний показник дискомфорту UGR залежить від безлічі факторів, основними [9] з яких є:

- положення і кут огляду спостерігача;
- розташування світильників;
- рівень яскравості світильників;
- рівень яскравості фону;
- коефіцієнти обслуговування (приміщення, світильників).

Для уникнення складних розрахунків існують спеціальні таблиці UGR для світильників [3].

Стандартна таблиця UGR світильника – таблиця значень об'єднаних показників дискомфорту (UGR), які можуть бути отримані у разі використання певного світильника для освітлення приміщень, що мають розміри типових будівельних модулів. Зрозуміло, що використання таблиць полегшує завдання, але не гарантує точності результатів: занадто велике розмаїття досліджуваних приміщень і варіантів характеристик їх основних поверхонь [10, 11].

Оцінка об'єднаного показника дискомфорту в програмі Dialux

Таблиця значень об'єднаних показників дискомфорту, якщо можливо, будується Dialux за фотометричними даними автоматично, незалежно від того, чи виконувались розрахунки *UGR*, чи ні.

Место выхода света 1 / Диаграмма UGR

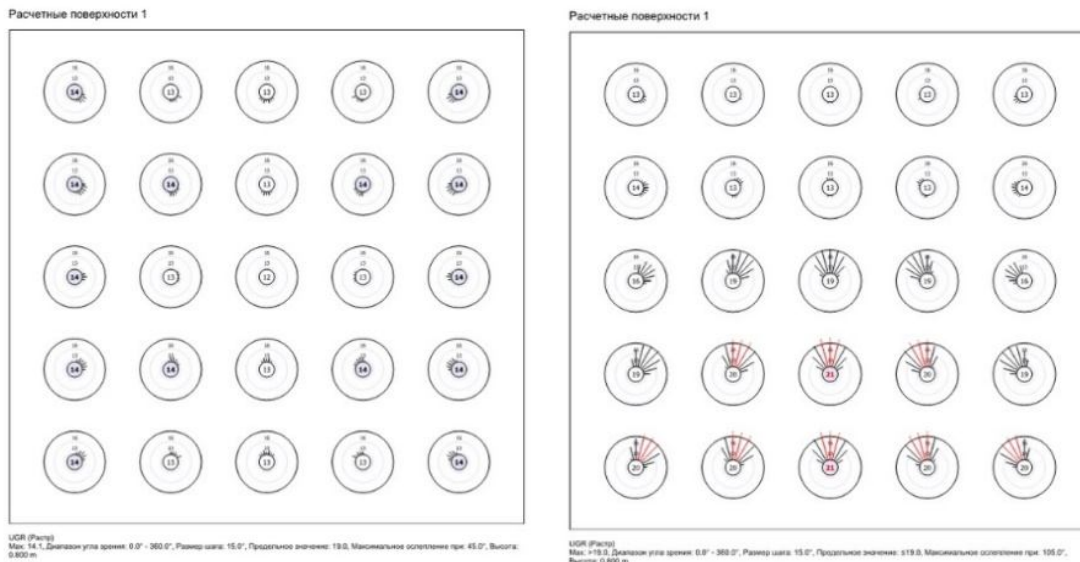
Оценка экранирования по UGR											
ρ Потолок	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Стенки	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Полы	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Светильник помещения	Направление взгляда поперек к оси ламп					Направление взгляда вдоль к оси ламп					
X	Y										
2Н	2Н	14.0	15.2	14.3	15.4	15.6	14.8	16.0	15.1	16.2	16.4
	3Н	15.0	16.0	15.3	16.2	16.5	15.8	16.8	16.1	17.1	17.4
	4Н	15.5	16.5	15.8	16.8	17.0	16.3	17.3	16.7	17.6	17.8
	6Н	16.0	16.9	16.4	17.2	17.5	16.8	17.7	17.1	18.0	18.3
	8Н	16.2	17.1	16.6	17.4	17.7	17.0	17.8	17.3	18.1	18.4
4Н	12Н	16.4	17.2	16.7	17.5	17.8	17.1	17.9	17.4	18.2	18.5
	2Н	14.5	15.5	14.8	15.7	16.0	15.1	16.1	15.4	16.3	16.6
	3Н	15.7	16.6	16.1	16.9	17.2	16.3	17.1	16.6	17.4	17.7
	4Н	16.5	17.2	16.9	17.5	17.9	16.9	17.7	17.3	18.0	18.4
	6Н	17.1	17.8	17.6	18.2	18.5	17.6	18.2	18.0	18.6	19.0
8Н	8Н	17.4	18.0	17.8	18.4	18.8	17.8	18.4	18.3	18.8	19.2
	12Н	17.6	18.1	18.0	18.5	18.9	18.0	18.5	18.4	18.9	19.4
	4Н	16.8	17.4	17.2	17.8	18.2	17.2	17.8	17.6	18.2	18.6
	6Н	17.7	18.1	18.1	18.6	19.0	18.0	18.5	18.5	18.9	19.4
	8Н	18.0	18.5	18.5	18.9	19.4	18.4	18.8	18.8	19.2	19.7
12Н	12Н	18.3	18.6	18.8	19.1	19.6	18.6	19.0	19.1	19.5	20.0
	4Н	16.8	17.4	17.3	17.8	18.2	17.2	17.8	17.7	18.2	18.6
	6Н	17.8	18.2	18.3	18.6	19.1	18.1	18.5	18.6	19.0	19.4
8Н	18.2	18.6	18.7	19.0	19.5	18.5	18.9	19.0	19.3	19.8	
Варьирование позиции наблюдателя для расстояний между светильниками S											
S = 1.0H	+0.2 / -0.3					+0.2 / -0.3					
S = 1.5H	+0.4 / -0.7					+0.4 / -0.6					
S = 2.0H	+0.8 / -1.0					+0.9 / -1.0					
стандартная таблица	BK05					BK05					
экранирующее слагаемое	0.2					0.8					
Скорректированные индексы экранирования, отнесенные к 3304lm Общий световой поток											
UGR-значения рассчитываются согласно CIE Publ. 117.											
Отношение расстояния к высоте = 0.25											

Рисунок 3.14 – Приклад таблиці значень UGR, що формується програмою Dialux

Крім числових значень, які можна вивести в звіт (рис. 3.15), можна надати розрахунки UGR у вигляді растра, у якому розрахункові точки є положеннями спостерігача. Інформація може надаватися у вигляді кругових діаграм, у центрі яких зазначено максимальне значення (рис. 3.16).

Оценка затемнения/ослепления		
Результат	Min	Max Предельное значение
UGR	<10	11.6 19.0
Высота: 0.800 m		

Рисунок 3.15 – Межові значення UGR



а

б

Рисунок 3.16 – Приклади подання значень UGR у вигляді кругових діаграм:

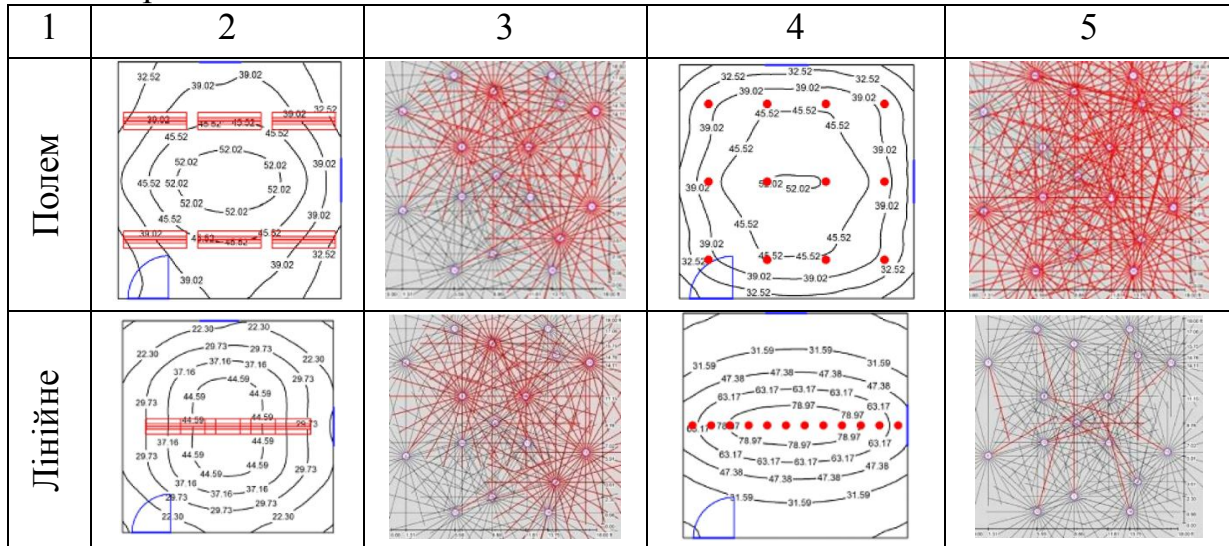
- а – межове значення 19.0; максимальне засліплення за 45°;
- б – межове значення ≤ 19.0 ; максимальне засліплення за 105°

У цій роботі була досліджена залежність об'єднаного показника дискомфورتу від способу розташування світильників. Моделювання освітлювальної установки проводилося в програмі Dialux. Точки зі спостерігачами були розміщені в довільному порядку по розрахунковій поверхні приміщення. Розрахунок проводився для світильників з люмінесцентними лампами і для світильників зі світлодіодами. Для обох випадків були розглянуті три варіанти розташування світлових приладів у приміщенні: кругове, розміщення світловим полем і лінійне. Результати моделювання наведені в таблицях 3.7–3.9.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку середньої освітленості і UGR в програмі DIALux

	Світильники з люмінесцентними лампами		Світильники зі світлодіодами	
	Ізолінії	UGR	Ізолінії	UGR
1	2	3	4	5
Кругове				

Продовження таблиці 3.7



Таблиця 3.8 – Максимальні значення UGR під час розрахунку для світильників із люмінесцентними лампами

Розрахункова точка UGR	Максимальне значення UGR		
	Кругове	Поле	Лінійне
1	13	10	25
2	10	<10	21
3	<10	<10	20
4	<10	10	21
5	16	12	12
6	11	13	19
7	16	11	20
8	10	<10	13
9	10	<10	18
10	14	15	17
11	14	15	13
12	12	16	20
13	12	16	19
14	12	<10	18
15	10	<10	19
16	12	13	20
17	10	13	18

Таблиця 3.9 – Максимальні значення UGR під час розрахунку для світильників зі світлодіодами

Розрахункова точка UGR	Максимальне значення UGR		
	Кругове	Поле	Лінійне
1	<10	11	22
2	<10	<10	18
3	<10	<10	18
4	<10	<10	17
5	14	11	13
6	10	<10	16
7	11	11	16
8	<10	<10	11
9	<10	10	14
10	11	<10	14
11	11	<10	11
12	<10	<10	17
13	<10	<10	15
14	<10	<10	16
15	<10	<10	15
16	10	<10	18
17	<10	<10	15

Аналіз проводився на підставі показника UGR, рекомендованого СІЕ. У разі, якщо цей показник менше 10, кажуть про незначний дискон-

форт, яким можна знехтувати. За величини UGR менше за 15 можна говорити про достатньо якісну освітлювальну установку. У приміщеннях, у яких не передбачається постійна присутність людей, UGR може бути більше 25, якщо це не суперечить нормам для подібного типу приміщення.

З таблиць 3.8 і 3.9 видно, що розташування світлових приладів як зі світлодіодами, так і з люмінесцентними лампами в лінію призводить до максимального дискомфорту, порівняно з іншими варіантами розміщення світильників. За кругового розташування світильників деякі спостерігачі в приміщенні можуть відчувати дискомфорт. Мінімальні значення UGR спостерігаються за розташування світильників світловим полем. Отже, розташування світильників полем, для обох типів світлових приладів, є найкращим варіантом для більшості спостерігачів у приміщенні.

3.4 Аналіз енергетичної оцінки освітлювальної установки в програмі Dialux згідно EN 15193

Як наслідок, енергоспоживання системи освітлення може знизитися, а якість освітлення – підвищитися. Оцінка енергоспоживання виконується за допомогою Lighting Energy Numeric Indicator (LENI) – показника, вираженого в $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ за рік, що показує річне споживання електроенергії, необхідної для функціонування систем освітлення відповідно зі специфіки споруди. Оскільки існує показник, логічно встановити також і критерії енергоспоживання, які відображені в стандарті EN–15193, що буде визначати вимоги щодо енергопостачання систем освітлення.

Велике значення має відповідність спроектованої системи освітлення рекомендованим нормам, зафіксованим у стандарті EN 12464. Вимоги до якості освітлення мають ще більше значення. Ці вимоги визначаються показником якості освітлення – Ergonomic Lighting Indicator (ELI). Цей показник був введений за для того, щоб мати можливість одночасного урахування множини аспектів якості освітлення. У зазначених вище стандартах містяться посилання один на одного.

Методика розрахунку енергії, що витрачається на освітлення наведена в стандарті EN 15193–1 «Оцінка кількості енергії, що витрачається на освітлення» (Lighting energy estimation) [1].

Для проведення розрахунків необхідно знати конкретні характеристики будівлі [2–3]: площі приміщень і вікон, географічну орієнтацію фасадів, години роботи тощо. Після цього потрібно визначити конкретні пара-

метри освітлювальних установок: встановлену потужність, паразитну потужність. На підставі наведених вище даних можна визначити теоретичне річне споживання енергії.

LENI може бути використаний для прямих порівнянь електроенергії, що витрачається на освітлення будівель, що мають однакове функціональне призначення, але відрізняються розмірами і конфігурацією.

Кількісний показник енергетичної ефективності штучного освітлення будівлі LENI визначається за формулою [1]:

$$LENI = \frac{W}{A}, \quad (3.28)$$

де W – загальна річна енергія, що використовується для освітлення споруди, $кВт \cdot год/рік$; A – повна корисна площа підлоги будівлі, $м^2$.

Загальна річна енергія, що використовується для освітлення споруди, визначається за формулою:

$$W = W_L + W_P, \quad (3.29)$$

де річна енергія для освітлення, необхідна для виконання функції освітлення в будівлі W_L , і річна паразитна енергія W_P , необхідна для забезпечення зарядної енергії для аварійного освітлення і енергії для управління освітленням у будинку, повинні визначатися за формулами (5) і (6) відповідно.

Питома встановлена потужність у приміщенні, $Вт/м^2$, розраховується за формулою:

$$\omega = 1000 \frac{W_t}{A_n}, \quad (3.30)$$

де A_n – площа освітлюваного приміщення або зони.

Повна розрахункова енергія, що витрачається на штучне освітлення приміщення (приміщень) протягом часу t , розраховується за формулою

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t}, \quad (3.31)$$

де енергія, що витрачається на штучне освітлення приміщення (приміщень) $W_{L,t}$, визначається за формулою:

$$W_{L,t} = \sum_i P_{ni} \frac{(t_D + t_N)}{1000}. \quad (3.32)$$

Паразитна енергія $W_{P,t}$, необхідна для зарядки акумуляторів у світильниках аварійного освітлення, а також та, що витрачається засобами управління освітленням у приміщенні (приміщеннях), визначається за формулою:

$$W_{P,t} = \frac{\sum [P_{pc} (t_y - (t_D + t_N)) + P_{em} t_{em}]}{1000} \quad (3.34)$$

Повна енергія на штучне освітлення може бути розрахована [4–5] для будь-якого встановленого проміжку часу (година, доба, тиждень, місяць або рік).

Для існуючих споруд значення величин $W_{P,t}$ та $W_{L,t}$ можуть визначатися більш точно шляхом вимірювання енергії, використаної на освітлення [6–11].

Значення $W_{P,t}$ у формулі (3.31) не містить потужність, споживану системою аварійного освітлення, що працює від акумулятора.

Покажемо на прикладі аналіз енергоефективності системи штучного освітлення в навчальних класах, у яких внаслідок необхідності забезпечення високих рівнів нормованої освітленості можлива значна втрата електроенергії у разі використання нераціональних систем освітлення.

Розглянемо аналіз енергоефективності системи освітлення на прикладі навчального класу.

Порядок розрахунку енергоефективності в програмі Dialux.

Для розрахунку енергоефективності в програмі використовується інструмент **Витрата енергії** режиму **Свет**.

Програма розраховує три параметри, подані в панелі **Витрата електроенергії и витрати** (рис. 3.17).

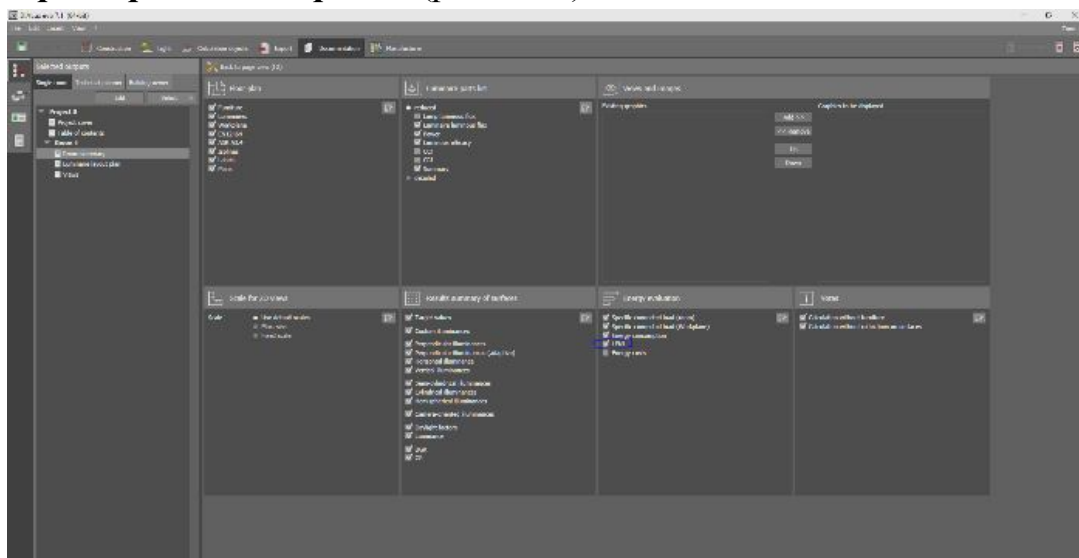


Рисунок 3.17 – Панель розрахунку енергетичних показників

У разі присутності природного освітлення розрахункові дані відображаються діапазоном, де перше значення – з урахуванням впливу природного освітлення, друге – без його врахування.

Для проведення розрахунків енергоефективності в програмі необхідно ввести *Датчик* (рис. 3.18).

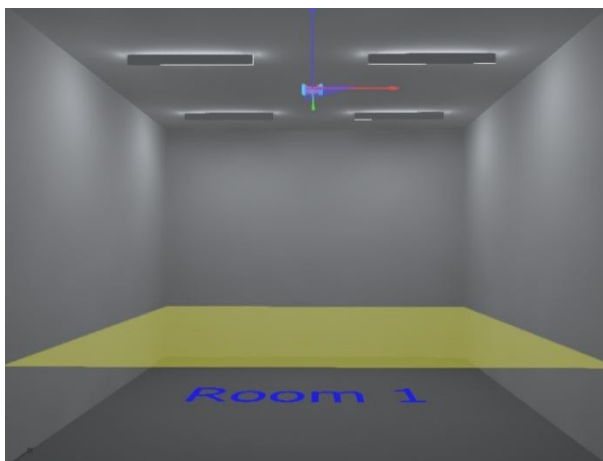


Рисунок 3.18 – Введення датчика для розрахунку енергоефективності

Після введення датчика в приміщення з'являється панель його налаштування (рис. 3.19).

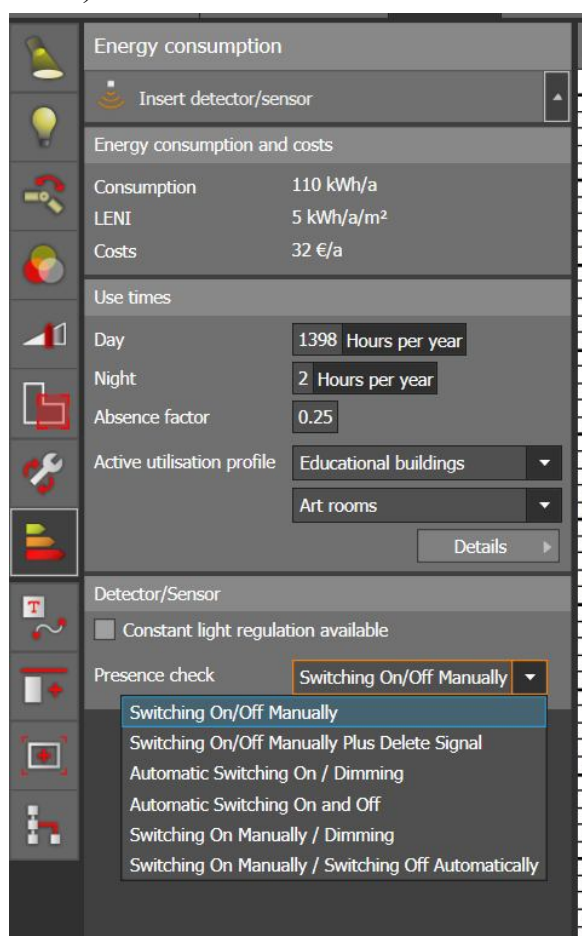


Рисунок 3.19 – Панель налаштування датчика

Під час налаштування розрахунку в цій панелі відображається необхідна для розрахунків інформація: години роботи системи освітлення вдень і вночі, коефіцієнт відсутності й активний профіль.

Для проведення розрахунків енергетичної ефективності в програмі існує три лічильника: *Consumption* (споживання), *LENI* (питомі витрати енергії за рік), *Costs* (витрати).

Consumption (споживання) – річне споживання електроенергії системою освітлення (кВт·год/рік), (рис. 3.20);

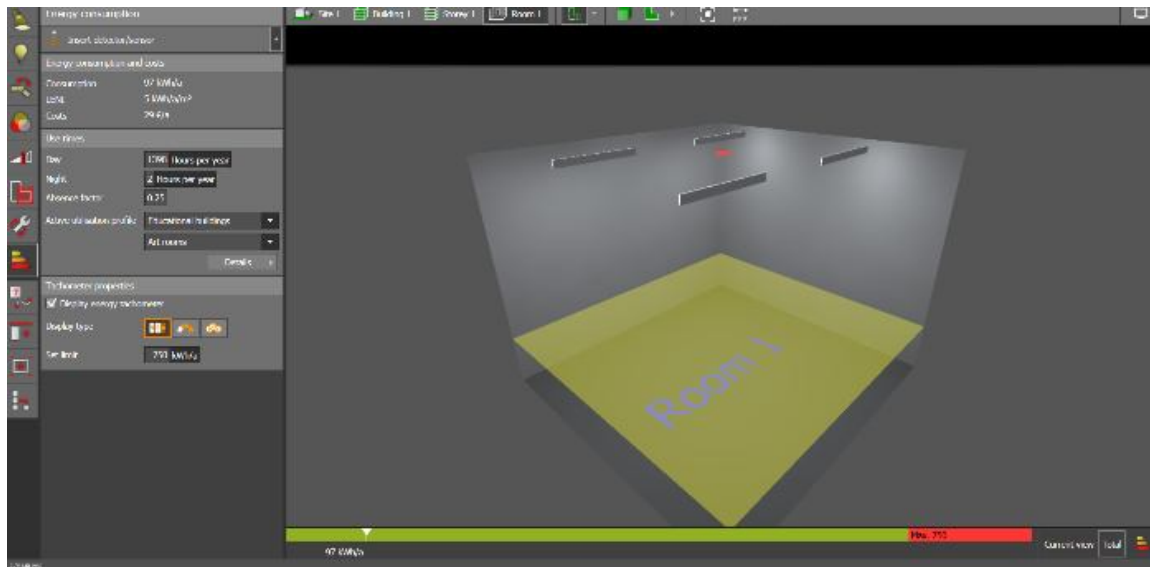


Рисунок 3.20 – Налаштування лічильників енергоспоживання в програмі

LENI (питомі витрати енергії за рік) – кількісний показник енергетичної ефективності штучного освітлення (кВт·год./рік/м²), як питомі втрати енергії за рік (рис. 3.21).

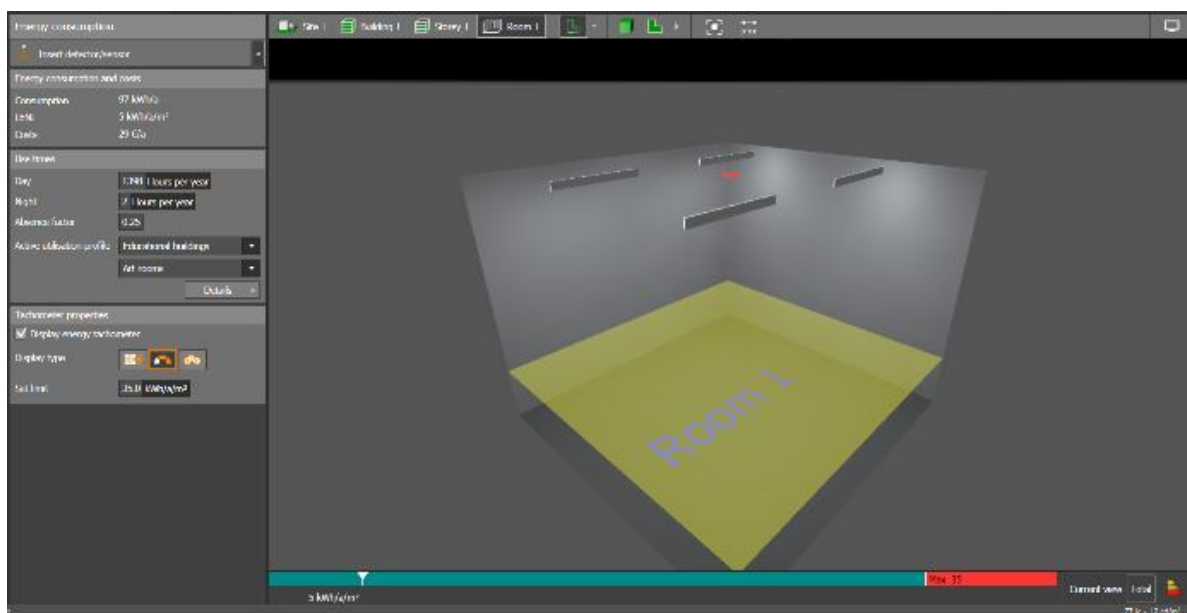


Рисунок 3.21 Розрахунок показника *LENI*

Costs (випрати) – річні втрати в грошовому еквіваленті за електроенергію, витрачену на освітлення (рис. 3.22).

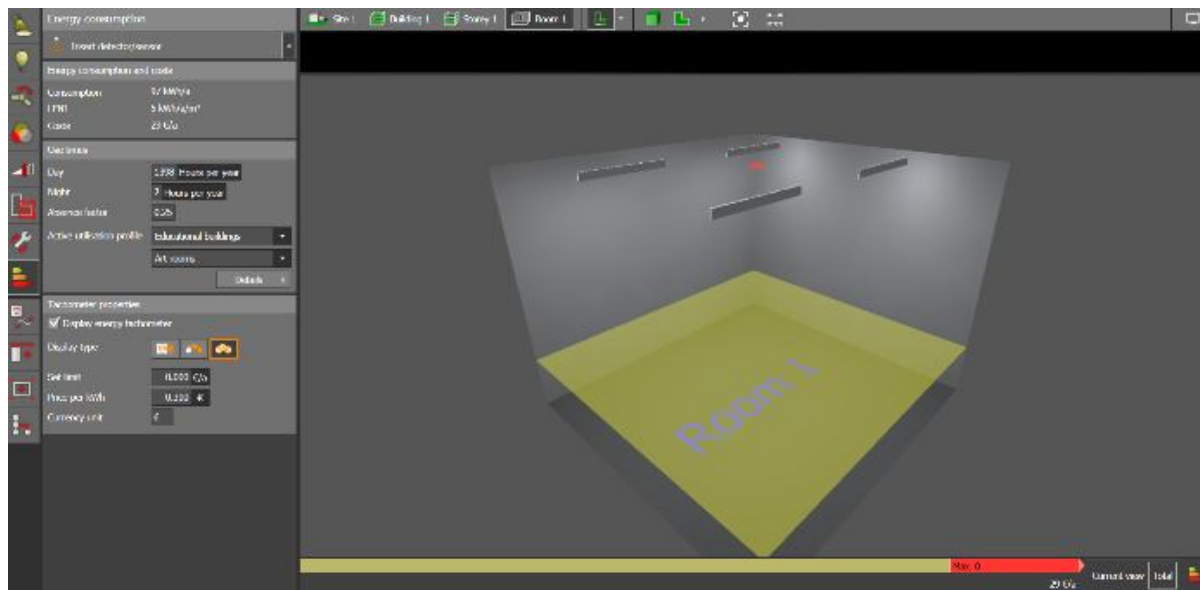


Рисунок 3.22 – Розрахунок електроенергії в грошовому еквіваленті

Приклад розрахунку

На рисунку 3.23 показано приміщення навчального класу, змодельованого в програмі Dialux.



Рисунок 3.23 – Модель навчального класу

Для експерименту було розглянуто 2 випадки: освітлення приміщення за допомогою компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), і освітлення за допомогою світлодіодів (СД). Відстань між світильниками визначалася ав-

томатично програмою, за умови створення необхідного рівня освітленості на робочій поверхні (рис. 3.24).

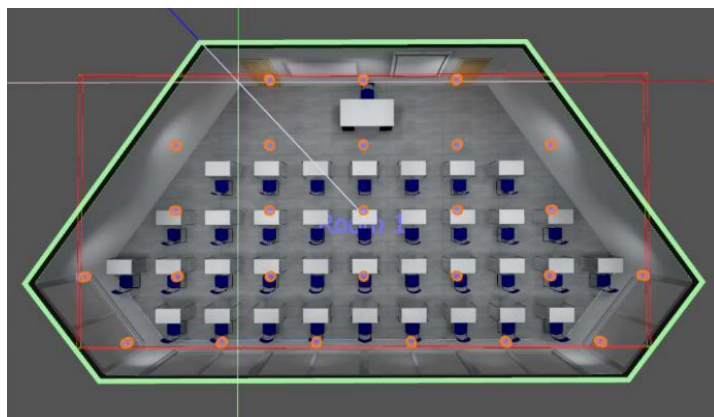


Рисунок 3.24 – План розстановки світлового обладнання в приміщенні

На рисунках 3.25–3.29 подані результати розрахунку освітленості в програмі Dialux у вигляді ізоліній.

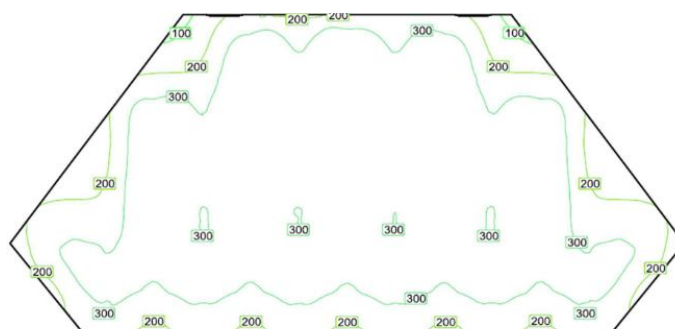


Рисунок 3.25 – Результат розрахунку освітленості для КЛЛ

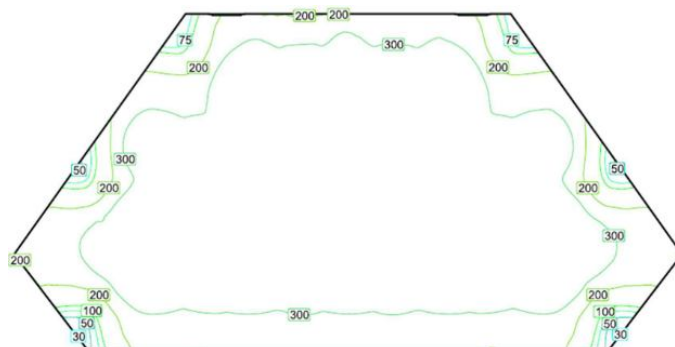


Рисунок 3.26 – Результати розрахунку освітленості для СД

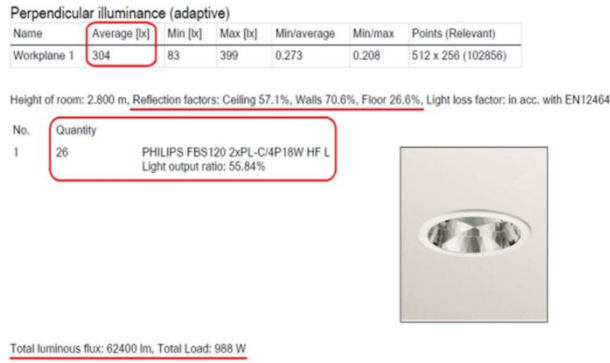


Рисунок 3.27 – Результати світлотехнічних розрахунків для КЛЛ

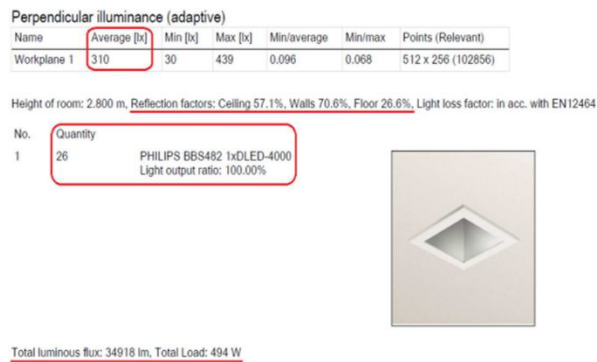


Рисунок 3.28 – Результати світлотехнічних розрахунків для СД

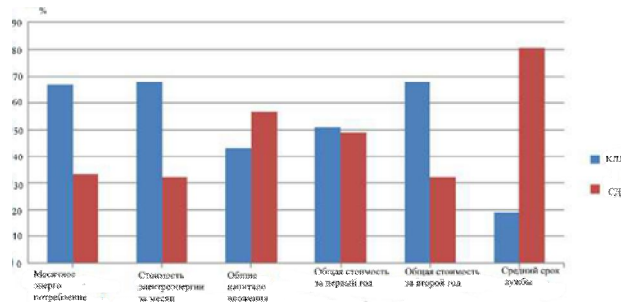


Рисунок 3.29 – Порівняльний розрахунок енергоефективності для КЛЛ і СД

Числовий показник кількості витраченої на освітлення енергії (LENI) був введений для демонстрації річного споживання електроенергії, що припадає на 1 м^2 , що витрачається на освітлення відповідно до специфікації споруди.

3.5 Формування документації під час проектування освітлювальної установки в програмі Dialux

Формування звіту моделювання освітлювальної установки

У програмі є можливість отримати документацію у роздрукованому вигляді або в форматі pdf. (рис. 3.30).



Рисунок 3.30 – Головне меню Dialux

На початку потрібно визначити, які конкретно результати ви хочете включити в свій репорт. Для цього ви повинні вибрати конкретні результати у випадній сторінці. Клацнувши на сторінці результатів, ви маєте можливість побачити варіанти кореспондуючих вихідних даних. Можна сформувати до трьох різних звітів водночас. Зверху сторінки маємо можливість переключатися між цими варіантами (рис. 3.31).

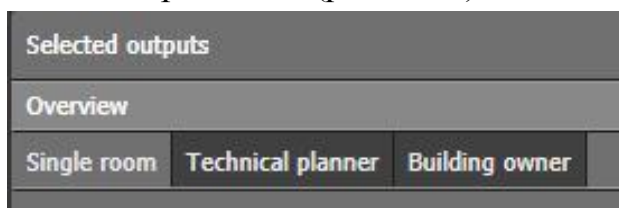


Рисунок 3.31 – Формування звіту

Використовуючи кнопку **Select** ми отримуємо доступ до передперегляду шаблонів для різних випадків. Кнопкою **Edit** викликаємо всі можливі варіанти результатів. У цьому вікні ми маємо можливість додавати або видаляти кожну сторінку індивідуально (рис. 3.32).

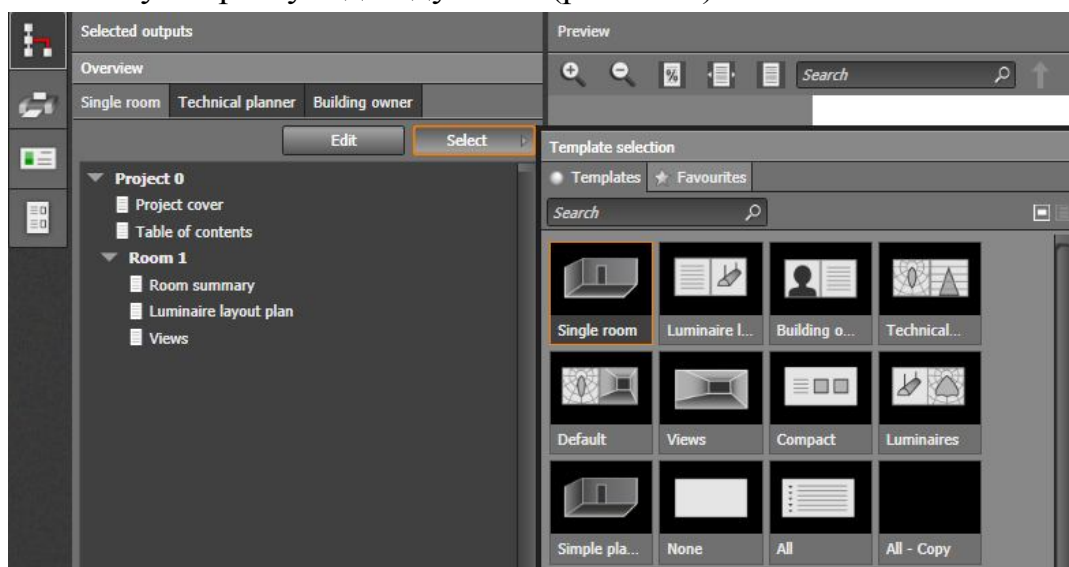


Рисунок 3.32 – Варіанти шаблонів

Повторний клік на кнопці **Edit** відкриває вигляд, у якому будуть відображатися лише обрані результати (рис. 3.33). Якщо певні результати недоступні, наприклад за умови, що вони ще не розраховані, вони не відображаються в сторінці результатів або ж показані сірим кольором.

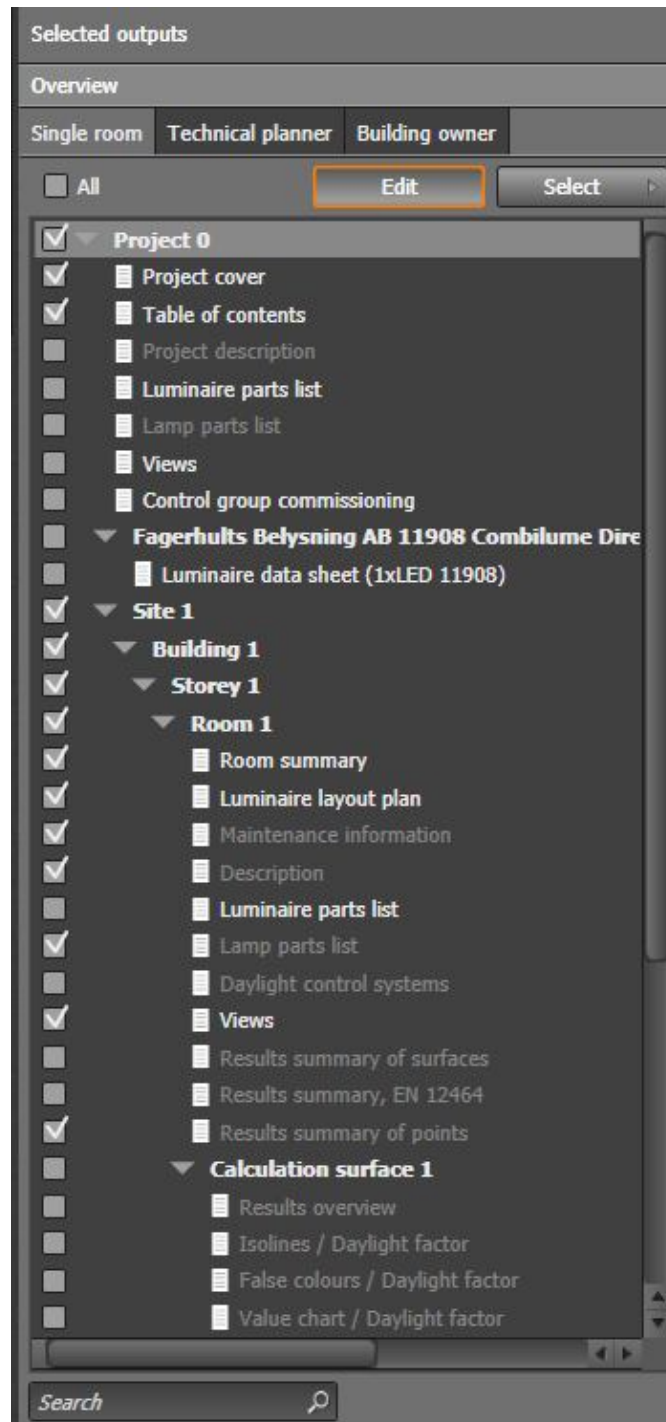


Рисунок 3.33 – Результати, що можуть бути включені до звіту

Роздрукування результатів. Як згадувалося вище, для формування репорту ми маємо можливість або роздрукувати його, або експортувати у формат pdf. Першим кроком необхідно активувати вкладку *Define number of pages* для того, щоб сгенерувати сторінку змісту та результатів.

Тут же ми обираємо бажаний принтер. Після цього обираємо формат паперу, що допустимий для обраного принтера.

Титул та логотип. Для надання своєму проекту індивідуальності додаємо у відповідних полях текст описового характеру та власний логотип в сторінці вихідних даних. Необхідні коректування робимо у вікні, що показано нижче. Як альтернативу можемо вказати ці дані у настройках програми (3.34).

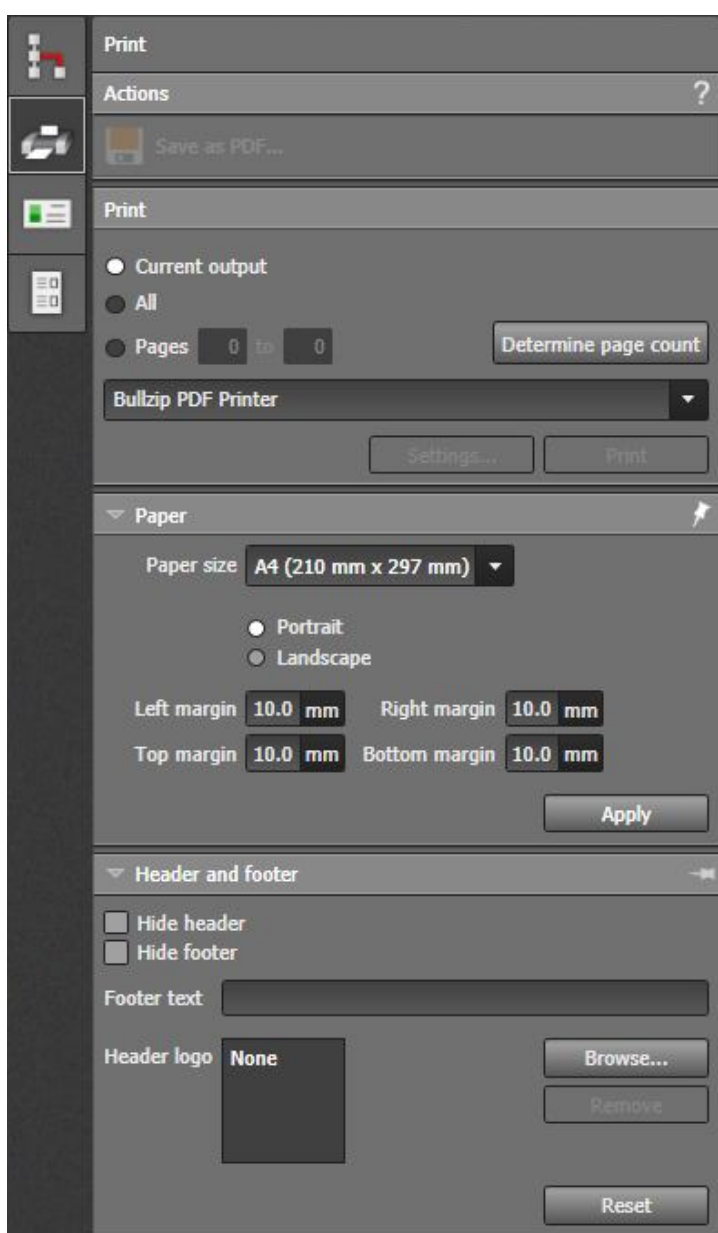


Рисунок 3.34 – Додавання титулу та логотипу

Project information (Інформація про проект). У цьому вікні прописуємо інформацію про проект, замовника, та відповідальну особу. Введена інформація буде показана у заголовку або на головній сторінці проекту та в описі проекту. Інформацію про замовника і відповідальну особу зберігаємо для подальшого використання в наступних проектах.

Configuring templates (Настроювання шаблонів). У цьому вікні створюємо власні шаблони для використання в наступних проектах. Попередньо створюємо новий шаблон або створюємо копію існуючого. Після цього присвоюємо ім'я та обираємо світлотехнічні результати, які будуть частиною нашого нового шаблону. Будь-які зміни зберігаються автоматично. Натиснувши кнопку ***Apply*** ми відразу використовуємо наш новий шаблон у теперішньому проекті. Якщо натиснути ***Set as standard***, новий шаблон буде використано для наступних проектів. Звісно, за необхідності результати цих проектів можуть бути адаптовані індивідуально.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди: ДБН В.2.2 – 13 – 2003: Держбуд України: затв. 10.11.03: чинний з 01.03.2004. – Київ: Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2004. – 102 с.
2. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В.2.5 – 23 – 2003: Держбуд України: затв. 24.09.03: чинний з 01.06.2004. – Київ : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2004. – 134 с.
3. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5 – 28 – 2006 : Держбуд України : затв. 15.05.06 : чинний з 1.10.2006. – Київ : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 76 с.
4. Light and lighting – Sports lighting. DIN EN 12193: European Committee for Standardization: approv. 25.10.2007: act. 01.04.2008. – Wien. : Austrian Standards Institute, 2008. – 40 p. – ISBN 978-0-580-58697-2.
5. Commission Internationale de l'Éclairage. Illuminance levels for sport events, CIE no. 91. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1991. – 20 p.
6. Commission Internationale de l'Éclairage. Lighting for tennis, CIE no. 42. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1978. – 23 p. – ISBN 978-3-900734-62-6.
7. Commission Internationale de l'Éclairage. Lighting for ice sports, CIE no. 45. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1979. – 23 p. – ISBN 978-92-9034-045-4.
8. Commission Internationale de l'Éclairage. Lighting for football, CIE no. 57. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1983. – 19 p. – ISBN 978-963-7251-05-4.
9. Commission Internationale de l'Éclairage. Lighting for sports halls, CIE no.58. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1983. – 9 p. – ISBN 978-963-7251-04-7.
10. Commission Internationale de l'Éclairage. Lighting for swimming pools, CIE no. 62. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1984. – 20 p. – ISBN 978-963-7251-22-1.
11. Commission Internationale de l'Éclairage. Guide for the photometric specification and measurement of sports lighting installations, CIE no. 67. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1986. – 18 p. – ISBN 978-3-900734-02-2.

12. Commission Internationale de l'Éclairage. Glare Evaluation System for Use within Outdoor and Area Lighting, CIE no. 112. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1994. – 14 p. – ISBN 978-3-900734-55-8.

13. Commission Internationale de l'Éclairage. Guide for the Lighting of Sports Events for Colour Television and Film Systems, CIE no. 83. – Paris : Bureau Central de la CIE, 1989. – 19 p. – ISBN 978-3-900734-20-6.

14. Commission Internationale de l'Éclairage. Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations, CIE no. 150. – Paris : Bureau Central de la CIE, 2003. – 43 p. – ISBN 978-3-901906-19-0.

15. Commission Internationale de l'Éclairage. Practical Design Guidelines for the Lighting of Sport Events for Colour Television and Filming, CIE no. 169. – Paris : Bureau Central de la CIE, 2005. – 79 p. – ISBN 978-3-901906-44-2.

16. The IESNA Lighting Handbook. Ninth Edition. – New York : IESNA Publications Department, 2002. – 1100 p. – ISBN 0-87995-150-8.

17. Царьков В. М. Освещение спортивных сооружений / В. М. Царьков. – М. : Энергия, 1971. – 72 с.

18. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с. – ISBN 5-87789-051-4.

19. Освещение спортивных сооружений / В. М. Царьков, Т. И. Гарифулина. – М. : Дом света, 2000. – 36 с.

20. Критерии освещения стадионов при передачах цветного телевидения и методы их обеспечения при проектировании путем расчета на ЭВМ / А. И. Мишин, В. М. Царьков, Г. Р. Шахпарунянц, С. А. Ключев // Светотехника. – 1979. – № 9. – С. 2–5.

21. Царьков В. М. Принципы и методы спортивного освещения с учетом требований цветного телевидения в СССР / В. М. Царьков, Г. Р. Шахпарунянц // Труды 20-й сессии МКО. – М. : Энергия, 1983. – С. 25–30.

22. Guide to the artificial lighting of football pitches. Philips Sports Lighting and FIFA recommendations. – Dijon. : Citron, 2002. – 40 p.

23. Football Stadiums. Technical recommendations and requirements, fourth edition. – Zurich. : FIFA, 2007. – 248 p. – ISBN13: 978-3-9523264-0-4.

24. Васильєва Ю. О. Методика проектування освітлення спортивних споруд за допомогою сучасного програмного забезпечення / Ю. О. Васильєва, О. М. Ляшенко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С. 45–52.

25. Сайт розробника програми Relux Professional 2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.relux.ch.

26. Сайт розробника програми Lightscape [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.lightscape.com

27. Сайт розробника програми DIALux [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dialux.de/>

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Аналіз і збереження результатів**
– Relux 125
– Lightscape 139
– DIALux 171
– EUROPIC 185
- Вибір і розміщення світильників**
– Calculux 114
– Relux 121
– Lightscape 136, 145
– DIALux 157, 158
– EUROPIC 184, 188
- Геометрія приміщення**
– Calculux 113
– Relux 116
– DIALux 155, 162
– EUROPIC 184
- Гradient освітленості 16**
- Індекс кольоропередачі 17, 77**
- Клас спортивних змагань 8**
- Коефіцієнт пульсації 12**
- Колірна температура випромінювання 17, 77**
- Козиркове розміщення прожекторів 75**
- Матеріали і текстури**
– Relux 117
– Lightscape 133, 143
– DIALux 163
– EUROPIC 184
- Освітленість**
– горизонтальна 8, 11, 13
– вертикальна 8, 13, 19
- Освітлювальна щогла 68**
- Положення телекамер 21**
- Прожектори 65, 78–86**
- Прожекторний майданчик**
– однорівневий 67
– дворівневий 67
- Розміщення меблів і об'єктів**
– Relux 119
– DIALux 163
– EUROPIC 184
- Рівномірність освітленості**
– горизонтальної 14
– вертикальної 20
- Розташування щогл**
– кутове 28, 69
– бічне 70, 71
- Розрахунки**
– Relux 122
– Lightscape 141
– DIALux 169
– EUROPIC 186
- Сітка контрольних точок 16**
- Світло, що заважає 18**
- Система освітлення закритої споруди**
– верхнього світла 51
– верхньо-бічного світла 52
– розсіяного світла 51–52
– відбитого світла 51–52
- Сцени освітлення**
– Relux 120
– Lightscape 128, 130
– DIALux 154, 156, 174
– EUROPIC 185
- Типова схема освітлення спортивної споруди**
– для бадмінтону 40
– для баскетболу 40
– для басейну 46
– для біатлону 46
– для велоспорту 43
– для волейболу 40
– для городків 40
– для настільного тенісу 40
– для лижного трампліну 43
– для тенісу 33
– для хокею з м'ячем 27
– для хокею з шайбою 33, 37
– для футболу 27, 36

Навчальне видання

ВАСИЛЬЄВА Юлія Олегівна

**КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ В СВІЛОТЕХНІЦІ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерний набір *Ю. О. Васильєва*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 30.01.2019. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 4,5.

Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.