

УДК 628.971.7; 519.688

А. Мушак, канд. техн. наук

Тернопільський національний економічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ПРИЛАДІВ ОСВІТЛЕННЯ СПОРТИВНИХ МАЙДАНЧИКІВ

***Резюме.** Запропоновано алгоритм оптимізації розміщення освітлювальних приладів для спортивних майданчиків, що ґрунтується на комп'ютерному аналізі матриць освітлення майданчика. В основу аналізу покладено утворення матриць освітленості для всіх можливих точок установки та наведення прожекторів кількох типів з урахуванням вимог стандартів, засліплюючої дії, рівномірності освітлення та режимів роботи спортивної споруди. Основною особливістю алгоритму є утворення сумарної матриці освітленості майданчика як суми матриць послідовного наближення до оптимального результату на основі аналізу мінімального та максимального рівнів освітленості сумарної матриці та кожної наступної, що додається. На основі вказаного алгоритму розроблено програмне забезпечення мовою Паскаль у середовищі Delphi та наведено приклад розрахунку освітленості симетричної 4-вежевої системи.*

***Ключові слова:** спортивний майданчик, освітленість, прожектор, оптимізація.*

A. Mushak

OPTIMIZATION OF THE SPORTS GROUND ILLUMINATING DEVICES DISTRIBUTION

***Summary.** Requirements to the sports ground illumination have been analyzed. As the result of the analysis of the latest publications dealing with the optimization of the illumination-technological parameters of the sports grounds illumination it was found, that this problem has not been investigated enough. Generally the optimization of the light source luminous flux has been studied as well as taking into consideration the light reflection and its scattering on the general illumination of the object. There are publications, which deal with the application of the parallel computation methods for rapid calculation of illumination according to the known layout of the outdoor facilities distribution. But the papers devoted to calculation of the optimal floodlights location, taking into account different additional requirements, in fact are not available. The optimization algorithm of the sports grounds illuminating devices distribution, which is based on the computer analysis of the illumination matrix of the sports ground by a single floodlight, has been proposed. The amount of computer memory needed to store all matrixes describing the sports ground illumination by one floodlight. The basis of analysis is the creation of illumination matrix for all possible places of distribution (on the towers and stadium roofs) and several types floodlights direction, taking into account standard requirements dazzling, uniform illumination and the sports grounds functioning regime. Precautions as to the elimination from the matrix calculation the disadvantageous parameters floodlight are presented. The main characteristic of the algorithm is the creation of the total matrix of the sports ground illumination as the sum of matrixes successive approximation to the optimal result, basing on the analysis of minimum and maximum level of illumination of the total matrix and every followed, which is added. After computer optimization the maximum, minimum and average levels of the sports grounds illumination are determined and compared with those acceptable parameters. Additional condition of optimization is, as a rule, providing of the sports ground shadowless illumination, which is guaranteed by the location of the floodlights distribution along its path. The optimization process can be similar to other floodlight types and their distribution places. Basing on the mentioned algorithm the Pascal software in Delphi has been developed and the example of calculation of the symmetric four-tower system with main results of software icons has been presented.*

***Key words:** sports ground, illumination, floodlight, optimization.*

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до якості телевізійних трансляцій високої чіткості ставлять проблему мінімізації відхилення освітленості спортивного майданчика від нормативної величини. Тобто висувається вимога забезпечення рівномірності освітлення та відсутності тіні в зоні проведення змагання [1,2]. Для покращення процесу проектування освітлення стадіону й отримання стабільних характеристик необхідно замінити ручний спосіб розрахунку місць установки світлотехнічного обладнання на комп'ютерну програму. За допомогою запропонованого алгоритму це дозволить оптимізувати процес розрахунку місць установки та направлення оптичних осей прожекторного обладнання з урахуванням усіх необхідних вимог.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу останніх публікацій щодо оптимізації світлотехнічних параметрів освітлення спортивних споруд виявлено, що питанню оптимального розміщення освітлювального обладнання приділено недостатньо уваги. В основному розглядають оптимізацію світлового потоку джерела світла, а також урахування відбиття та розсіяного світла на загальну освітленість об'єкта. Існують публікації, що висвітлюють використання методів паралельних обчислень для швидких розрахунків освітленості з відомим сценарієм розміщення зовнішніх об'єктів [3,4]. Проте публікації, що висвітлюють питання розрахунку оптимального розміщення прожекторів, з урахуванням різноманітних додаткових вимог, практично відсутні.

Існуючі методи розрахунку освітленості, як правило, ґрунтуються на використанні програмного забезпечення сторонніх організацій, найбільш відомим з яких є безкоштовна програма DIALux. Програма має значний обсяг баз даних прожекторів різних фірм та може бути застосована для розрахунку освітленості довільних об'єктів як зовні, так і всередині приміщення. Проте недоліком програми є відсутність оптимізації розміщення джерел світла з метою досягнення найбільш рівномірного розподілу освітленості спортивного майданчика у визначених площинах на заданих ділянках. Достатньо широкий аналіз переваг, особливостей та недоліків різноманітних програм розрахунку освітленості наведено в [5], проте жодна з них не може виконати оптимізацію розміщення світлових приладів, а лише обчислює результуюче освітлення для вказаного їх розміщення.

Мета дослідження – розроблення алгоритму пошуку оптимального (раціонального) розміщення кількох типів джерел світла для освітлення спортивних споруд, наприклад, футбольних полів з метою досягнення мінімальної нерівномірності освітлення у визначених площинах. Вказаний алгоритм повинен забезпечити раціональне розташування та налаштування оптичних осей прожекторів з урахуванням усіх вимог до характерних режимів роботи спортивної споруди. З точки зору ефективності використання електричної енергії та зменшення ціни апаратури кількість прожекторів повинна бути мінімально можливою для досягнення вказаних світлотехнічних величин.

Результати дослідження. Розглянемо процес розрахунку освітлення поверхні спортивного майданчика на прикладі стандартного футбольного поля, що допускає можливість телевізійної трансляції високої якості з урахуванням вимог телевізійної апаратури, стандартів футбольної асоціації і зручності спортсменів та глядачів під час проведення матчу. До першої групи вимог належать показники норми освітленості, що допускаються телевізійними камерами для забезпечення високоякісного передавання зображення, до другої – нерівномірність освітлення різних ділянок поля у довільних площинах та норми освітленості трибун для глядачів, а також граничні кути освітлення, що зменшує ймовірність засліплення спортсменів та глядачів під час проведення змагань. З точки зору спортсмена також необхідно забезпечити чіткість фіксації

положення м'яча, зменшення попадання його в пряму зону навпроти освітлювального приладу, особливо у характерних точках поля – у воротарському майданчику, при пробитті кутових ударів тощо. На відміну від стадіонів старого типу, де освітлювальні прилади встановлювалися на щоглах, сучасні архітектурні вирішення стадіонів передбачають їх установку вздовж контуру поля на конструкціях дашків, у тому числі на різних висотах. Таке розміщення дає можливість ефективніше розподіляти світловий потік і обирати місця установки освітлювальних приладів з урахуванням особливостей освітлення різних зон спортивного майданчика.

У роботі не розглядаються питання забезпечення аварійного освітлення та спектральних характеристик освітлювального обладнання.

Освітлювальний прилад спортивної споруди (прожектор) характеризується певним просторовим розподілом світлового потоку в напрямку випромінювання. Для кожного типу прожектора виробником надається діаграма, на якій вказано розподіл сили світла залежно від кута відхилення напрямку вимірювання від оптичної осі прожектора. Основними типами прожекторів є сферичний та циліндричний. Відповідно, для першого з них діаграма світлового потоку є симетричною відносно оптичної осі прожектора. Для другого типу, як правило, подають діаграми для двох взаємно перпендикулярних площин, одна з яких співпадає з оптичною віссю прожектора та з твірною циліндра відбивача.

Сумарний світловий потік кожного прожектора залежить від типу джерела світла, якості відбивача та певних конструктивних елементів – тримачів, дашків, захисного скла тощо.

Вважатимемо, що у задачі забезпечення якісних параметрів освітлення стадіону відомо норми освітленості у всіх характерних площинах для всіх режимів роботи стадіону – змагання з телевізійною трансляцією звичайного та міжнародного рівня, звичайні змагання без телевізійної трансляції, тренування, прибирання тощо. Також відомо розміри спортивного поля та навколишніх зон – бігові доріжки, лави для тренерів, суддів, глядачів. Із конструктивних міркувань відомо можливі точки розташування освітлювальних приладів, як правило, на вежах та конструкціях даху стадіону.

З міркувань ціни та доступності прожекторів обираємо кілька їх типів, допустимих для певного проекту освітлення стадіону.

Додатково враховуватимемо такі параметри, як кут засліплення спортсмена і глядача, необхідність безтіньового освітлення, особливості освітлення воротарського майданчика, зони пробиття кутового, стрибкові сектори тощо.

Основою створення алгоритму розрахунку освітлення є утворення множини матриць освітленості в кожній із контрольованих точок поверхні стадіону на кожній із 5 поверхонь освітленості (горизонтальній та 4 вертикальних – передній, задній, лівій та правій) кожним із прожекторів обраних типів, установлених у кожній із можливих точок установки та спрямованих на кожну з можливих точок націлювання оптичної осі. Очевидно, що таких матриць у вказаній множині буде значна кількість, що обчислюється за формулою

$$N = 3n_1n_2n_3, \quad (1)$$

де множник 3 характеризує кількість можливих площин освітлення одним прожектором (одна горизонтальна і дві вертикальні);

– n_1 – кількість можливих точок установки прожекторів на стадіоні;

– n_2 – кількість можливих точок наведення оптичної осі прожектора;

– n_3 – кількість типів прожекторів, що застосовуються у проекті;

Методика розрахунку освітленості поверхні спортивного майданчика одним прожектором є відомою [6] і в даній роботі не розглядається. На основі відомих залежностей в результаті розрахунків отримаємо множину матриць виду

$$E_i^j = \begin{pmatrix} e_{11}^{ij} & e_{12}^{ij} & - & e_{1m_y}^{ij} \\ e_{21}^{ij} & e_{22}^{ij} & - & e_{2m_y}^{ij} \\ - & - & - & - \\ e_{m_x1}^{ij} & e_{m_x2}^{ij} & - & e_{m_xm_y}^{ij} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де e_{kl}^{ij} – освітленість точки поля k,l ($k=1..m_x$, $l=1..m_y$) з відповідними координатами у матриці E_i^j , а індекси матриці визначені так:

i – номер матриці, що складається з номерів прожекторів, точок установки та націлювання ($i=1..n_1n_2n_3$) та визначається за формулою

$$i = i_1 + (i_2 - 1)n_1 + (i_3 - 1)n_1n_2,$$

де $i_1=1..n_1$ – номер точки установки; $i_2=1..n_2$ – номер точки вимірювання освітленості; $i_3=1..n_3$ – номер типу прожектора; j – номер площини освітлення (1 – горизонтальна, решта вертикальні – 2 – передня, 3 – задня, 4 – ліва, 5 – права).

Кожна матриця освітленості має розмір $m_x m_y$, де m_x та m_y , відповідно кількість контрольованих точок освітленості по взаємно перпендикулярних осях X і Y , розташованих у площині стадіону. Зазвичай точки контролю розрахункової освітленості обирають з кроком 3..5 м на всій поверхні, де планується проведення спортивних змагань та відеотрансляція (в межах 20..30 розбиттів по ширині та довжині поля).

Множина точок наведення оптичних осей наближено відповідає точкам контролю освітленості (у деяких проектах може бути меншою). Множина точок установки визначається конструкцією стадіону та вежами.

Розрахунок типового стадіону дає число матриць N при кількості типів прожекторів $n_3=3$, розмірах поля $m_x=20$, $m_y=30$, $n_2=600$, кількість місць установки $n_1=20$ (враховуючи групові місця установки з однаковими координатами)

$$N = 3 \times 3 \times 600 \times 20 = 108 \text{ тис. матриць}$$

Кожна матриця містить $m_x m_y=600$ елементів, що потребує зберігання у пам'яті порядку 65 млн. числових значень освітленості – 250 Мбайт пам'яті. З точки зору застосування сучасних комп'ютерів та відповідного програмного забезпечення, ця область пам'яті не є дуже великою і відповідає об'єму пам'яті, що використовується при опрацюванні у графічному редакторі високоякісного кольорового зображення формату А4.

У випадку симетричного освітлення поля, як правило, розрахункова кількість місць установки прожекторів може бути зменшена у чотири рази. У цьому випадку матриці міститимуть лише 16 млн. числових значень. Подальше скорочення

розрахункової кількості матриць освітленості поля може бути визначене обмеженнями на кути засліплення, що стосується певних місць установки та націлювання оптичної осі прожектора з урахуванням конструктивного оформлення прожектора – наявності певних обмежень світлового потоку у зоні засліплення. При використанні для освітлення лише певних симетричного розміщення та однотипних прожекторів кількість необхідних для процесу оптимізації матриць може бути значно зменшена (до 50 разів).

Для кожної матриці освітленості поля перед розрахунком необхідно визначити координати точки з максимальною освітленістю та її значення в цій точці. Ця характеристика матиме важливе значення при проведенні подальшого оптимізаційного процесу.

Суть проведення оптимізаційного розрахунку полягає у знаходженні загальної освітленості в усіх точках поля у вигляді матриці, що є сумою матриць, обраних за певними критеріями, які наведені нижче, для кожної із розрахункових площин освітлення.

$$E^j = \sum E_i^j . \quad (3)$$

Кількість матриць перед сумуванням невідома. Вона визначиться при проведенні оптимізації для досягнення вказаної освітленості та мінімальної її нерівномірності.

Загальну кількість прожекторів можна оцінити через сумарний світловий потік усіх прожекторів, необхідний для отримання вказаної освітленості поля. Проте такий розрахунок потребує корекції в бік збільшення внаслідок втрат світлового потоку на ділянках майданчика, освітленість яких не нормується, а їх освітлення є вимушеним унаслідок відносно широкої діаграми прожектора.

Процес числової оптимізації пропонується проводити згідно з таким алгоритмом. На першому кроці потрібно обрати основну площину оптимізації розподілу освітленості, як правило, це горизонтальна площина на рівні 1 м над рівнем поля, або вертикальна площина, повернена до головної камери. А також вказати пріоритет розрахунку освітленості в інших площинах.

На другому етапі необхідно розрахувати та зберегти у пам'яті матриці освітленості поля (2) для всіх контрольованих площин, точок установки й наведення прожекторів, їх різних типів та врахувати кути засліплення для спортсменів і глядачів (відкинути матриці для тих прожекторів, які потенційно можуть засліпити).

Власне розрахунок починається із визначення першої точки, в яку треба спрямувати перший із розташованих прожекторів. Вибір цього прожектора, як правило, робить проєктант і спрямовує його вісь у середину ближньої чверті поля. Для несиметричних систем освітлення це потрібно зробити для кожної із чвертей, розташувавши точки установки у відповідних секторах. Програма, сумуючи відповідні матриці освітленості від чотирьох симетричних чи несиметричних прожекторів, визначить початковий розподіл освітленості поля в усіх контрольованих площинах.

Подальша оптимізація проводитиметься автоматично за наступним алгоритмом. Визначаємо у сумарній матриці освітленості основної площини точки з максимальною та мінімальною освітленістю. Серед матриць, які були сформовані раніше (2), шукаємо такі, де максимальна освітленість припадає на точку мінімальної освітленості у сумарній матриці. Якщо таких матриць є кілька, обираємо той із прожекторів, що має максимум освітленості в інших площинах, що лежить якомога ближче до точки мінімуму освітленості в цих площинах, враховуючи зазначені раніше пріоритети площин освітлення. Для забезпечення безтіньового освітлення доцільно обирати прожектор, розташований у точці з мінімальним наповненням групи прожекторів. Таким чином, прожектори рівномірно розподіляться по периметру стадіону. При

симетричній схемі враховуємо відповідні матриці 4 прожекторів, розміщених і націлених симетрично. При несиметричній схемі аналізуємо окремо матрицю освітленості у 4 квадрантах поля.

Процес сумування матриць продовжуємо до досягнення рівня освітленості заданого режиму роботи спортивної споруди – починаючи від мінімального рівня освітленості до максимального. Розташування прожекторів фіксується на кожному проміжному етапі і є базовим для наступного етапу оптимізації. Під час розрахунку із множини можливих точок установки видаляємо використані місця розташування при їх фізичному заповненні. Збільшення кількості прожекторів при високих рівнях освітленості суттєво покращує якісні показники – зменшується нерівномірність освітлення в усіх контрольованих площинах.

Після завершення розрахунку оптимального розміщення прожекторів визначаємо максимальний e_{\max}^j , мінімальний e_{\min}^j і середній e_{med}^j рівні освітленості та коефіцієнти нерівномірності освітленості у кожній із площин і порівнюємо їх з рекомендованими у стандартах

$$\frac{e_{\min}^j}{e_{\max}^j} > 0,4; \frac{e_{\min}^j}{e_{\text{med}}^j} > 0,6.$$

Якщо вказані параметри не виходять за межі допустимих, розрахунок вважається завершеним. У іншому разі розрахунок необхідно повторити спочатку, задавши інші типи прожекторів, точки розташування та перший крок оптимізації. У деяких випадках доцільно змінити призначення головної площини або порядок пріоритетів площин освітлення.

Використання запропонованого алгоритму під час розрахунку симетричних систем освітлення з контролем освітленості вертикальної площини головної відеокамери дало можливість отримати результати, що мають параметри кращі, ніж наведені у рекомендаціях спортивних федерацій і телекомпаній [1,2]. Оптимальне розташування та націлювання суттєво залежить від світлотехнічних параметрів прожекторів. Тому їх вибір відіграє велику роль у забезпеченні рівномірного освітлення. Як правило, для віддалених точок установки обирають прожектори з вузькою діаграмою світлового потоку, а для освітлення ближньої зони – з більш розширеною. Така комбінація різних типів прожекторів сприяє більш рівномірному освітленню майданчика.

Представлений алгоритм має на меті полегшення роботи проектанта, який вирішує задачу освітлення майданчика, і зменшення затрат часу на створення проекту освітлення. Як кінцевий варіант реалізації алгоритму розроблено програму розрахунку параметрів освітлення стадіону мовою Паскаль у середовищі Delphi для операційної системи Windows. Час розрахунку вимірюється одиницями хвилин для найскладніших систем розміщення прожекторів.

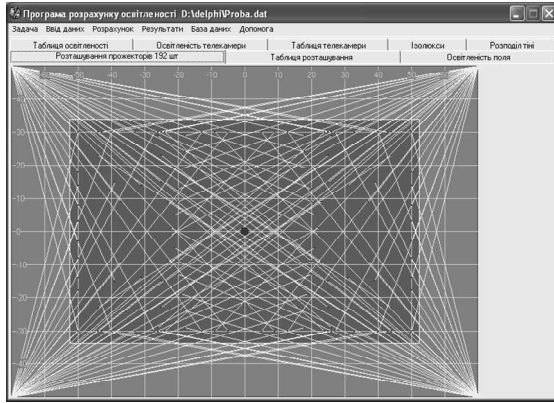


Рисунок 1. Розміщення прожекторів

Figure 1. Projectors location

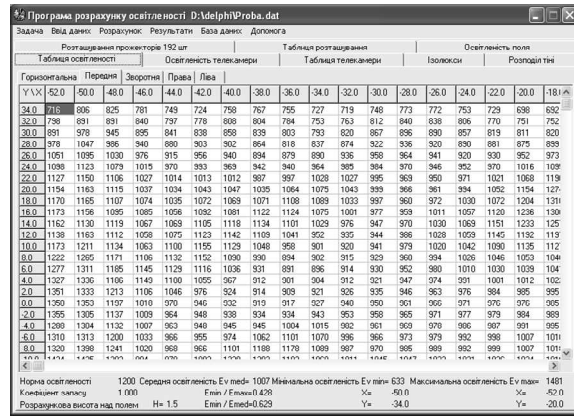


Рисунок 2. Таблиця освітленості

Figure 2. Table of illumination

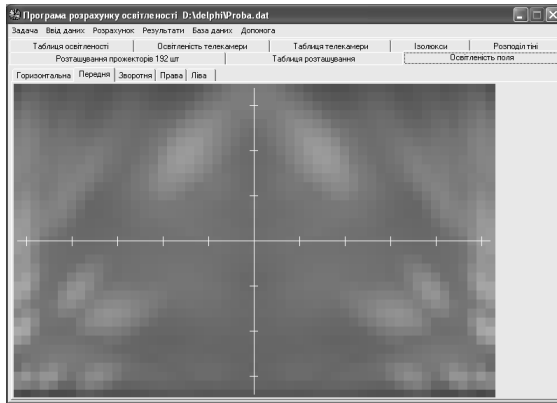


Рисунок 3. Зображення освітленості поля

Figure 3. Picture of field illumination

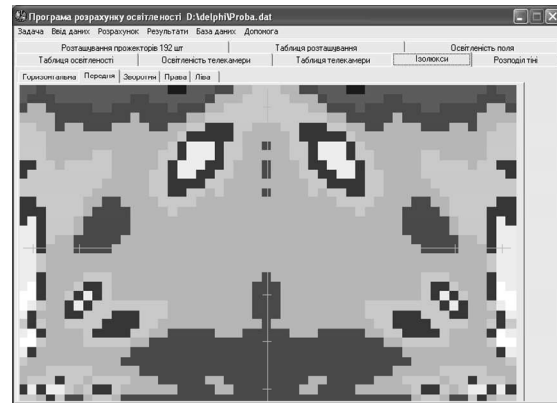


Рисунок 4. Ізолюкси освітленості поля

Figure 4. Isolux curves of field illumination

Для прикладу, проведено розрахунок оптимального націлювання однотипних прожекторів для випадку симетричного освітлення за допомогою 4 веж. На рис.1 зображено вікно програми з розрахунковим розташуванням прожекторів на 4 вежах, на рисунку 2 наведена таблиця освітленості в розрахункових точках. Рисунки 3 та 4 зображують візуальний рівень освітленості поля та розподіл кривих ізолюксів у вертикальній площині, поверненій до головної телекамери. Отримані значення нерівномірності освітленості $\frac{e_{min}^j}{e_{max}^j} = 0,428$ та $\frac{e_{min}^j}{e_{med}^j} = 0,629$ задовольняють вимогам стандарту і результати проектування можуть бути застосовані на практиці.

Висновки. Запропоновано алгоритм оптимізації розміщення та націлювання прожекторів для спортивних майданчиків, який забезпечує малу нерівномірність освітлення та полегшує роботу проєктанта. Основною особливістю алгоритму є утворення сумарної матриці освітленості майданчика як суми матриць послідовного наближення до оптимального результату на основі аналізу мінімального та максимального рівнів освітленості сумарної матриці та кожної наступної, що додається. Отримані параметри освітлення відповідають вимогам стандартів та спортивних федерацій [1,2].

Conclusions. The optimization algorithm of the sports grounds floodlights distribution and direction, which provides insufficient illumination irregularity and makes the work of the project-maker easier, has been proposed. The main characteristic of the algorithm is the creation of the total matrix of the sports ground illumination as the sum of matrixes of the successive approximation to the optimal result, basing on the analysis of the minimum and maximum level of illumination of the total matrix and every followed, which is added. Obtained illumination parameters meet the requirements of sports federations standards [1,2].

Список використаної літератури

1. СТАНДАРТ РФС (СТО) «Футбольные стадионы» [Текст]. – Москва, 2011. – 23 с.
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Категорія_стадіонів_УСФА [Текст]. – Дата доступа: 20. 08. 14.
3. Парубец, В. В. Методы оптимизации расчёта освещения для интерактивных приложений [Текст] / В. В. Парубец, А. С. Огородников, О. Г. Берестнева // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, №5. – С. 140–144.
4. Парубец, В. В. Применение технологии параллельных вычислений для оптимизации модели глобального освещения [Текст] / В. В. Парубец, О. Г. Берестнева // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, №5. – С. 137–141.
5. http://electrolibrary.narod.ru/svet_p1.htm. Свет для рекордсмена [Текст]. – Дата доступа: 20. 08. 14.
6. Справочная книга по светотехнике [Текст]; под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

Отримано 04.03.2015