

- tanabe, M. Aredes. – Hoboken, New Jersey, USA: IEEE press, 2007. – 379 p.
7. Kim H.S. The instantaneous power theory on the rotating p-q-r reference frames / H.S. Kim, H. Akagi // Conference records of IEEE PEDS 99. – 1999. – Pp. 422-427.
 8. Kim H.S. Instantaneous power compensation in three-phase systems by using p-q-r theory theory / H.S. Kim, B.F. Bak-Jensen, B. Jaeho Choi // Power electronics specialists conference. – 2001. – Vol. 2. – Pp. 478-485.
 9. Popescu M. Optimum control strategy of three-phase shunt active filter system / M. Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, V. Suru // World academy of science, engineering and technology. – 2009. – № 58. – Pp. 441-446.
 10. Zakis J. Comparison of flexible systems of reactive power compensation / J. Zakis, I. Rankis // 5th international symposium «Topical problems in the field of electrical and power engineering», doctoral school of energy and geotechnology kuressaare. – 2008. – Pp. 99-102.

Рецензент: О.М. Сінчук
д-р техн. наук, проф., КрНУ ім. М. Остроградського

Стаття надійшла 27.10.2015

УДК 628.94:535

© Говоров Ф.П.¹, Король О.В.²

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТ

В статті розглядається спосіб знезараження питної води, що базується на використанні світлодіодних джерел світла для генерації ультрафіолетового випромінювання. Запропоновано структуру системи знезараження води, методика та алгоритм розрахунку світлорозподілу світлодіодних джерел світла, що забезпечують ефективне використання електричної енергії для знезараження води.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, світлодіодні джерела світла, бактерицидна установка, структура, методика, алгоритм, програма розрахунку світлорозподілу.

Говоров Ф.П., Король О.В. Энергоэффективная технология обеззараживания воды в системах водоснабжения городов. В статье рассматривается способ обеззараживания питьевой воды, основанный на использовании светодиодных источников света для генерации ультрафиолетового излучения. Предложена методика и алгоритм расчета светораспределения светодиодных источников света, которые обеспечивают эффективное использование электрической энергии для обеззараживания воды.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, светодиодные источники света, бактерицидная установка, структура, методика, алгоритм, программа расчета светораспределения.

F.P. Govorov, O.V. Korol. Energy efficient water disinfection technology in city water supply system. The article describes a method of drinking water disinfection, based on the use of LED light sources for generating ultraviolet radiation, the radiation having a bactericidal effect on microorganisms and minimizing the energy expenditure. It eliminates the spread of pathogens in the water decreasing the amount of reagents, thereby

¹ д-р техн. наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

² ст. наук. співробітник, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, oljana830804@mail.ru

eliminating secondary microbiological contamination in urban water supply. Studies have confirmed that the secondary contamination greatly influences the quality of drinking water. The causes for secondary contamination initiation and development have been studied, methods and means to reduce their negative influence have been proposed. A multi-step system of water disinfection with ultraviolet LED light sources, based on the calculation of the entire area of their location and interaction of these elements in the creation of total light distribution and their interaction with the environment has been proposed. A method of lighting devices synthesis based on the known curve of luminous intensity of a single LED light source was developed as well as Light Power software ensuring luminous intensity of LED devices curve calculation with their arbitrary location and orientation relative to the center of the LED and for a certain state of the transmission medium.

Keywords: *ultraviolet radiation, LED light sources, structure, methods, algorithm, the program of calculation of light distribution.*

Постановка проблеми. До найактуальніших проблем сьогодення, що торкаються кожного жителя планети й від яких залежить майбутнє людства, слід віднести забезпечення вимог до якості питної води. Наявність у питній воді патогенних бактерій може призвести до техногенної катастрофи. Тому сучасні гігієнічні нормативні документи в розвинених країнах світу регламентують надзвичайно високі вимоги до якості питної води за мікробіологічними показниками. Проте існуючі методи очищення води, а також традиційні схеми її знезараження не завжди спроможні забезпечити сучасні вимоги до якості питної води, гарантовано захистити населення від збудників інфекційних захворювань і не в повній мірі відповідають вимогам енергоефективності у зв'язку із застосуванням малоэффективних джерел світла та методик розрахунку їх світлорозподілу.

Існуючі на сьогоднішній день джерела УФ-променів у бактерицидних установках побудовані на основі використання газорозрядних ртутно-аргонових або ртутно-кварцових ламп, в яких у процесі електричного розряду генерується УФ-випромінювання бактерицидного діапазону. Вони встановлюються у кварцовому чохла в центрі металевого корпусу. Знезараження відбувається під час протікання води в просторі між корпусом і чохлам при безпосередньому впливі УФ-променів на мікроорганізми. За цих умов наявність у воді завислих речовин призводить до поглинання світлового випромінювання, що знижує ефективність знезараження. Це вимагає постійного чищення зовнішньої поверхні кварцового чохла від осаду, що накопичується, а також обумовлює відносно високі витрати електроенергії. Крім того, конструкція таких бактерицидних установок дозволяє здійснювати очистку тільки в місцях, що мають дуже високу бактеріальну забрудненість, але, на жаль, в таких бактерицидних установках спостерігається відсутність ефекту післядії, що неприйнятно при транспортуванні води на значну відстань. У зв'язку з цим установки для знезараження води на основі бактерицидних ламп являються малоэффективними, хоча досить привабливими взагалі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологія ультрафіолетового опромінення при знезараженні питної та стічної води застосовується досить широко. Ультрафіолет дійсно може бути нездоланим бар'єром по відношенню до всіх відомих мікроорганізмів, у тому числі він дуже ефективний і проти мікроорганізмів, стійких до впливу хімічних препаратів. Однак, для того, щоб УФ обладнання реально справлялося з поставленим завданням, необхідно правильно задати потужність бактерицидного випромінювання, щоб забезпечити необхідний ефект знезараження. Зокрема, для знезараження побутових і міських стічних вод повинна застосовуватися УФ доза не менше 30 мДж/см². Але на практиці матриця води настільки унікальна, що даної дози може бути як більш ніж достатньо, так і не достатньо зовсім [1]. Шляхи вдосконалення знезараження води та водопідготовки в цілому слід шукати в нових способах, що передбачають застосування більш гнучких та енергоефективних систем. Як свідчить аналіз [2], високі техніко-економічні показники забезпечують бактерицидні установки на основі світлодіодних джерел світла, які на рівні з покращеними енергетичними характеристиками забезпечують ще й можливість розосередження установки бактерицидної дії і багатоступеневе знезараження води. У той же час, дослідження процесів знезараження води та визначення вимог до бактерицидних установок на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла досі не проводилось. Це

стосується світлотехнічних та електротехнічних розрахунків бактерицидних установок на основі світлодіодних джерел світла, що стримує їх впровадження в діючі схеми обеззаражування води і обумовлює низьку енергетичну та світлотехнічну ефективність таких установок. Означене вище вимагає проведення досліджень по створенню науково-методичних основ розрахунку бактерицидних установок на основі світлодіодних джерел світла та визначенню вимог і параметрів бактерицидних установок на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла.

Ціль статті – підвищення ефективності існуючих технологій знезараження питної води на основі використання енергоефективних джерел світла.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення проблеми вторинного забруднення мікроорганізмами розглядається розподілена система знезараження води (рис. 1), основана на використанні енергоефективних ультрафіолетових світлодіодних джерел світла. Це відкриває можливість розташовувати бактерицидні установки після кожної операції в системах водопостачання міст, що дає можливість уникнути повторного розвитку мікроорганізмів, оскільки при впливі на органічні клітини різних бактерій ультрафіолетовим випромінюванням спектрального складу від 200 до 400 нм спостерігається руйнація клітин.

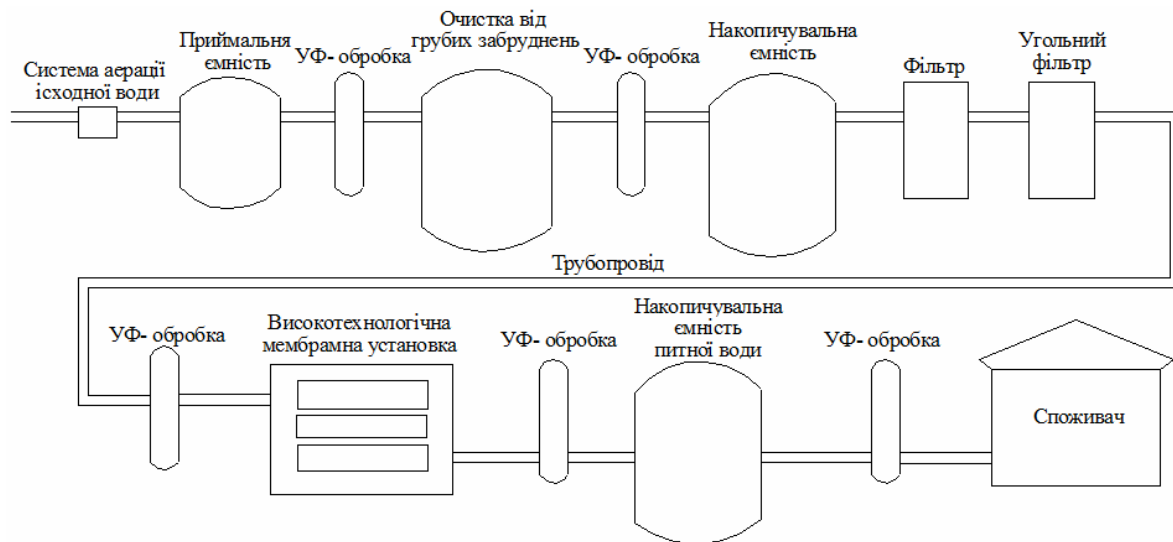


Рис. 1 – Структура системи очистки води на основі світлодіодних джерел світла

Оскільки призначення установки ультрафіолетового випромінювання – знешкодження бактерій, то бактерицидні властивості в них мусять мати лише фотони із енергією, яка здатна розірвати зв'язок молекул білкової речовини випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda \leq 300$ нм. Дослідження процесів в установках бактерицидної дії дозволило визначити область їх ефективної дії (рис. 2). Аналіз графічних залежностей, наведених на рис. 2, приводить до висновків, що найбільшу ефективність бактерицидних установок забезпечують джерела світла з довжиною хвилі 254–258 нм. В дослідницькій лабораторії Nippon Telegraph and Telephone Corporation під керівництвом доктора Йошітака Танясу створено діоди на основі нітриду алюмінію, які дозволяють випромінювати світло в ультрафіолетовому діапазоні з довжиною хвилі 210 нм. Однак широке впровадження таких джерел світла в установках бактерицидної дії стримується відсутністю програм та методик світлотехнічного розрахунку установок на їх основі.

Розробка алгоритму та програми розрахунку світлодіодних джерел світла. При розрахунку світлових установок на основі світлодіодних джерел світла не може бути застосований традиційний підхід розрахунку світлорозподілу одиничного елемента, що світить, і вимагає розрахунку усєї області, в межах якої знаходяться елементи, що світять, з урахуванням взаємодії цих елементів в створенні загального світлорозподілу та їх взаємодії з оточуючим середовищем. Через недостатньо вивчені закономірності світлорозподілу світлодіодних джерел світла і невисоку точність їх опису розрахунок характеристик світлових приладів на їх основі, як і освітлювальних установок, є досить складним і невирішеним завданням [3]. Структурну модель візуалізації світлового простору, створюваного світлодіодними джерелами світла, сьогодні мо-

жна реалізувати лише для окремих світлодіодів. Недостатність технічного та методологічного забезпечення програм візуалізації освітлення на основі світлодіодних джерел світла обумовлює низьку ефективність освітлювальних установок на їх основі.

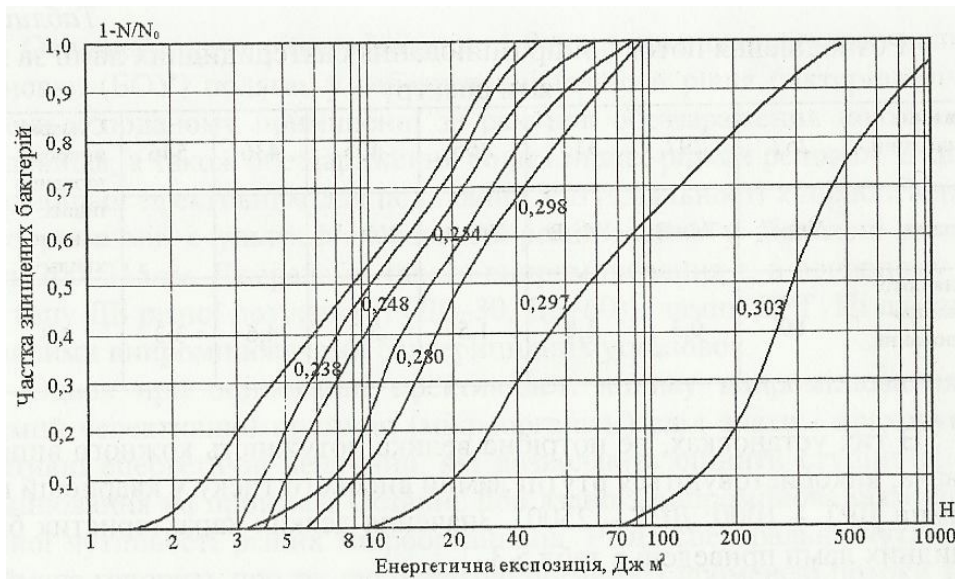


Рис. 2 – Спектр ефективної бактерицидної дії випромінювання

Аналіз публікацій, присвячених моделюванню світлового простору за допомогою світлодіодних джерел світла і опису методик розрахунку світлорозподілу джерел світла і світлових приладів (СП) на їх основі, показав, що в основному публікації присвячені опису світлодіодних джерел світла стосовно умов конкретного завдання [3, 4], що не дає можливості застосування розроблених моделей для будь-якого типу світлорозподілу джерел світла. Реальні світлові прилади складаються з n-ої кількості світлодіодів, що відкриває можливість вироблення великого різноманіття конструктивних і технічних рішень при їх проектуванні. Тому для визначення оптимальної кількості світлодіодів і їх взаємного розташування в СП на стадії проектування виникає потреба в моделюванні світлорозподілу СП і створенні на її основі методики синтезу установок із заданими властивостями.

Для виявлення загальних закономірностей створення світлового простору світлодіодними світловими приладами необхідно на основі дослідження кривих сили світла (КСС) існуючих світлодіодних джерел світла встановити загальні закономірності їх світлорозподілу і на їх основі розробити математичні моделі характеристик світлодіодних СП.

Для досягнення поставленої мети авторами розроблена методика синтезу світлових приладів на основі відомої КСС одиничного світлодіодного джерела світла. Для формування кривої сили світла приладу на основі світлодіодів використана модель виду [5]:

$$I'(\lambda) = F(I(\lambda), N, K) = F(I_0, N, 2\theta_{0,5}, K), \quad (1)$$

де $I'(\lambda)$ – розподіл сили світла СП; $I(\lambda)$ – розподіл сили світла одного світлодіода (СД); N – число світлодіодів в приладі; I_0 – осьова сила світла одного СД; $2\theta_{0,5}$ – кут світіння одного світлодіода; K – коефіцієнт, що враховує розподіл сили світла від оптичного елемента світлового приладу.

Моделювання світлорозподілу світлодіодів здійснювалося на основі кривих ламбертовського типу з використанням сплайн-апроксимації, як найбільш ефективного опису цього процесу. Знаходження шуканої сплайн-функції, що описує розподіл сили світла світлодіодного джерела світла в просторі, зведено до рішення системи лінійних рівнянь алгебри. Для цього розроблено програмне забезпечення Light Power, що забезпечує розрахунок КСС світлодіодних приладів з довільним розташуванням і орієнтацією відносно певного центру світлодіода, а також для кожного стану середовища пропускання. На рис. 3 представлений алгоритм розрахунку параметрів і характеристик світлових приладів на основі світлодіодних джерел світла.



Рис. 3 – Алгоритм розрахунку бактерицидних установок зі світлодіодними джерел світла

Результатом розрахунку є графік світлорозподілу в площині, де розташовані точки спостереження. Графік є кривою сили світла в довільно вибраній площині, що проходить через всі лампи. Величина сили світла в цій залежності є результат складання сил світла в точці спостереження від усіх світлодіодів, які розміщені в світлодіодній лампі (СДЛ). Величина кута визначена, як кут між віссю лампи і променем, проведеним в точку спостереження. Для обчислення сили світла використовується закон квадрата відстані $I=E \cdot L^2$. Для розрахунку КСС СДЛ використовується КСС одиничних світлодіодів (СД). В розглянутих умовах КСС СД – це кубічний сплайн апроксимації, отриманий на основі експериментальних вимірів для одиничного світлодіода. КСС модельованої СДЛ розраховується в два етапи.

На першому етапі створюється каталог КСС одиничних світлодіодів різних модифікацій, з яких передбачається створювати СДЛ.

На другому етапі в точках спостереження здійснюється розрахунок сили світла від усіх світлодіодів лампи.

Другий етап завдання здійснюється у відповідності з розробленою методикою:

- розрахунок координат точок спостереження залежно від кута спостереження для заданого крока зміни кута;
- розрахунок координат точок підстав світлодіодів для заданих точок світіння світлодіода і кута нахилу осі світлодіода до осі лампи;

- розрахунок кутів між світловими векторами від кожного світлодіода і вектором, що задає вісь світлодіода.

Застосування розробленої методики дозволяє розрахувати КСС від СДЛ для будь-яких умов застосування. Розрахунок КСС для СДЛ зводиться до розрахунку сили світла в будь-якій точці середовища пропускання A_i з координатами (x_a, y_a, z_a) в системі координат, у якій вісь OZ співпадає з віссю лампи. Точка початку координат є уявним центром світимості лампи, який може бути вибраний довільно в області площини розміщення діодів. Площина XOY перпендикулярна осі OZ і проходить через точку нуль осі OZ . Напрямок осі OX вибирається довільно. Алгоритм, застосований в завданні для розрахунку точок спостереження A_i середовища пропускання, заснований на твердженні, що ці точки знаходяться в площині XOZ .

Методика розрахунку координат точок світіння середовища пропускання. Для розрахунку координат точок світіння середовища пропускання застосовано алгоритм розрахунку координат, який полягає в знаходженні координат рівновіддалених точок середовища пропускання при обертанні їх навколо початку координат. Для того, щоб скористатися цим алгоритмом задаються наступні величини [5]:

- відстань до точок розрахунку R від нульової точки системи координат;
- крок зміни кута при русі точки розрахунку навколо точки нульової осі OZ . На основі кроку виконується розрахунок кута між точкою розрахунку і негативним напрямом осі OZ .

По теоремі косинусів визначаються відстані до точок розрахунку та їх координат.

$$a = - R \cdot \cos (\gamma). \quad (2)$$

На рис. 4 зображена геометрична інтерпретація отримання координат точок розрахунку в результаті обертання точки розрахунку навколо центру координат.

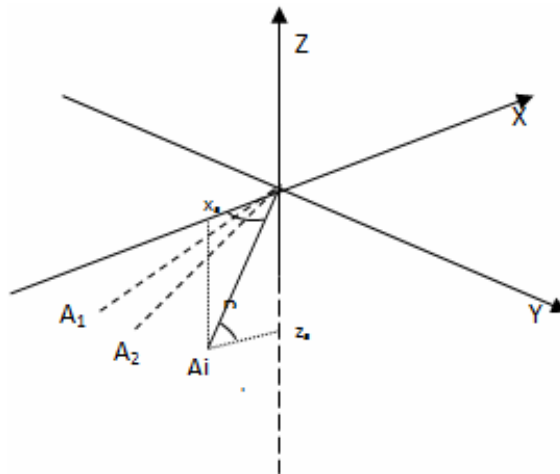


Рис. 4 – Визначення координат точки розрахунку

Завдання кута нахилу осі світлодіода до осі лампи. Координати двох точок простору, вказані в певному порядку, задають єдиний вектор. Таким чином, якщо задати дві точки, що лежать на лучі осьової сили світла світло діода, то цього достатньо для завдання напрямку осі світлодіода. Точка кінця вектора світлодіода повинна задаватися, як координати оптичного центру світлодіода. Точка початку вектора світлодіода може бути вибрана довільно, але обов'язково повинна належати лучу осьової сили світла світлодіода. Для визначення координат точки початку вектора світлодіода в завданні кутом між осями світлодіода і лампи розраховується кут, отриманий в результаті проведення площини крізь вісь OZ і точку оптичного центру світлодіода. Із точки оптичного центру світлодіода відновлюється перпендикуляр до осі OZ . Гіпотенузою цього трикутника виступатиме відрізок геометричного променя з точки оптичного центру світлодіода до осі OZ . Кут між гіпотенузою і віссю OZ задається при конструюванні лампи і є кутом нахилу осі світлодіода до осі лампи. Точкою початку вектора світлодіода, виходячи з цієї побудови, являється точка перетину гіпотенузи з віссю OZ . Позначивши точку оптичного

центру світлодіода координатами $D_s(x_s, y_s, z_s)$ і використовуючи теорему тангенсів для прямокутного трикутника, знаходимо величину катета, що належить осі OZ у вигляді:

$$b = a \cdot \operatorname{tg}(\gamma), \quad (3)$$

де a – довжина катета, яку можна знайти з координат точки оптичного центру світлодіода.

У площину XOY проекція точки оптичного центру діода має координати, відповідно x_s і y_s , довжина вектора від оптичного центру до осі OZ , дорівнює $\sqrt{(x_s^2 + y_s^2)}$. Таким чином, катет b визначається, як:

$$b = \operatorname{tg}(\sqrt{x_s^2 + y_s^2}). \quad (4)$$

Координати точки перетину гіпотенузи з віссю OZ – $(0, 0, z_s + b)$. На рис. 5 зображена геометрична інтерпретація отриманих координат точок основ світлодіодів.

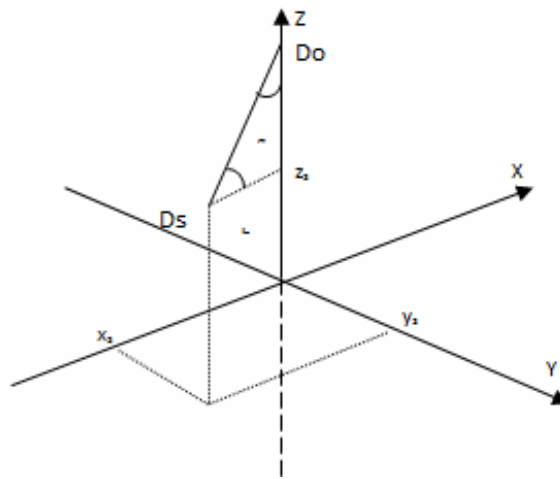


Рис. 5 – Визначення координат точки основи світлодіода

Можна задати координати точки початку вектора діода просто з геометричного зображення лампи. У завданні застосовується розрахунок координат точки початку вектора діода для кожного діода лампи по описаному алгоритму, якщо задані координати точки оптичного центру діода і кут нахилу осі діода до осі лампи. При завданні координат точок початку і кінця вектора діода з геометричної побудови лампи необхідність завдання кута нахилу осі діода до осі лампи відпадає.

Визначення кута між віссю світлодіода і вектором в точці розрахунку. Для розрахунку сили світла від оптичного центру світлодіода до точки розрахунку визначається кут між вектором, що задає вісь світлодіода, і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки розрахунку.

Кут між векторами в просторі знаходиться, використовуючи поняття скалярного множення векторів. У відповідності з цим, скалярним добутком двох векторів $a(x_a, y_a, z_a)$ і $b(x_b, y_b, z_b)$ є сума мнужень відповідних координат векторів: $ab = x_a \cdot x_b + y_a \cdot y_b + z_a \cdot z_b$. З іншого боку, скалярним добутком цих векторів є добуток довжин векторів, помножений на косинус кута між ними:

$$ab = |a| \cdot |b| \cdot \cos(\alpha). \quad (5)$$

Для знаходження кута між віссю світлодіода і вектором з оптичного центру світлодіода в точці спостереження визначаються точки початку і кінця для кожного з векторів. На рис. 6 зображена геометрична інтерпретація отримання кута між векторами, що задають вісь світлодіода і вектором з оптичного центру світлодіода, спрямованого в точку спостереження (вектор спостереження). Перший вектор задає вісь світлодіода і належить променю осьової сили

світла світлодіода. Вектор, проведений з будь-якої точки, що лежить на промені осьової сили світла світлодіода D_o до оптичного центру світлодіода D_s . Другий вектор – з точки оптичного центру світлодіода D_s до точки спостереження A_i .

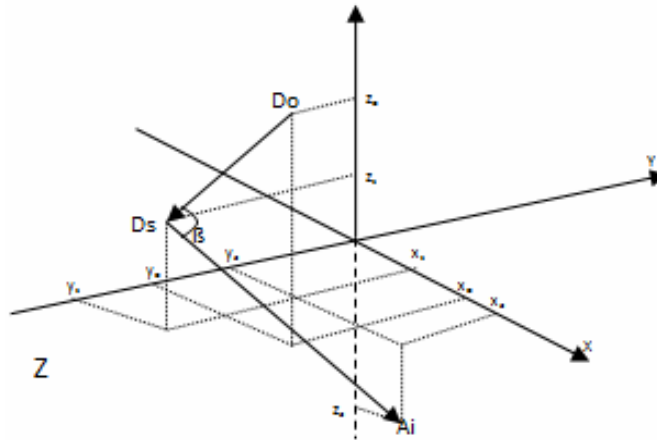


Рис. 6 – Визначення кута між віссю світлодіода і вектором розрахунку

Координати точок, що визначають обидва вектори: $D_s (x_s, y_s, z_s)$ – точка оптичного центру світлодіода; $D_o (x_o, y_o, z_o)$ – точка основи світлодіода; $A_i (x_i, y_i, z_i)$ – точка розрахунку (точка, в якій розраховується сумарна сила світла від світлодіодів, розміщених в лампі).

Координати вектора світлодіода $D (D_o, D_s)$ і вектора розрахунку $A (D_s, A_i)$ знаходяться, використовуючи координати точок початку і кінця вектора:

$$D(x_s - x_o, y_s - y_o, z_s - z_o)$$

$$A(x_a - x_s, y_a - y_s, z_a - z_s)$$

Визначивши довжини векторів:

$$|D| = \sqrt{((x_s - x_o)^2 + (y_s - y_o)^2 + (z_s - z_o)^2)}$$

$$|A| = \sqrt{((x_a - x_s)^2 + (y_a - y_s)^2 + (z_a - z_s)^2)}$$

обчислюється скалярний добуток векторів з використанням їх координат:

$$DA = (x_s - x_o) \cdot (x_a - x_s) + (y_s - y_o) \cdot (y_a - y_s) + (z_s - z_o) \cdot (z_a - z_s).$$

Скалярний добуток векторів обчислюється з використанням визначення скалярного множення:

$$DA = |D| \cdot |A| \cdot \cos(\beta).$$

Прирівнявши знайдені різними способами скалярні добутки векторів, знаходимо кут між векторами:

$$|D| \cdot |A| \cdot \cos(\beta) = (x_s - x_o) \cdot (x_a - x_s) + (y_s - y_o) \cdot (y_a - y_s) + (z_s - z_o) \cdot (z_a - z_s).$$

$$\cos(\beta) = ((x_s - x_o) \cdot (x_a - x_s) + (y_s - y_o) \cdot (y_a - y_s) + (z_s - z_o) \cdot (z_a - z_s)) / (|D| \cdot |A|)$$

Використовуючи раніше знайдені довжини векторів і функцію arccos, знаходимо необхідний кут. Використовуємо отриманий кут між вектором, що задає вісь світлодіода, і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки спостереження. Провівши інтерполяцію з використанням функції апроксимації кубічного сплайна для вибраного світлодіода, розрахуємо силу світла від конкретно узятим світлодіода у вибраній точці спостереження. Підсумовуючи значення отриманих сил світла від усіх світлодіодів СДЛ, отримаємо силу світла в цій точці спостереження.

Необхідно підкреслити, що розроблений метод знаходження кута між вектором, що задає вісь світлодіода і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки спостереження, не залежить від методів розрахунку координат точок спостереження і точок підстав світлодіодів. Тому він може бути застосований для будь-яких довільно вибраних точок спостережень, під-

став світлодіодів і середовища їх розташування, що робить алгоритм придатним для розрахунку світлорозподілу від світлодіодних систем бактерицидного знезараження води.

На рис. 7 приведені експериментальні і розрахункові КСС на відстані 1 м від точки світіння. Відмінність розрахункових кривих від реальних не перевищує 10% і пояснюється різницею параметрів окремих світлодіодів СП, а також їх струмів і теплових режимів.

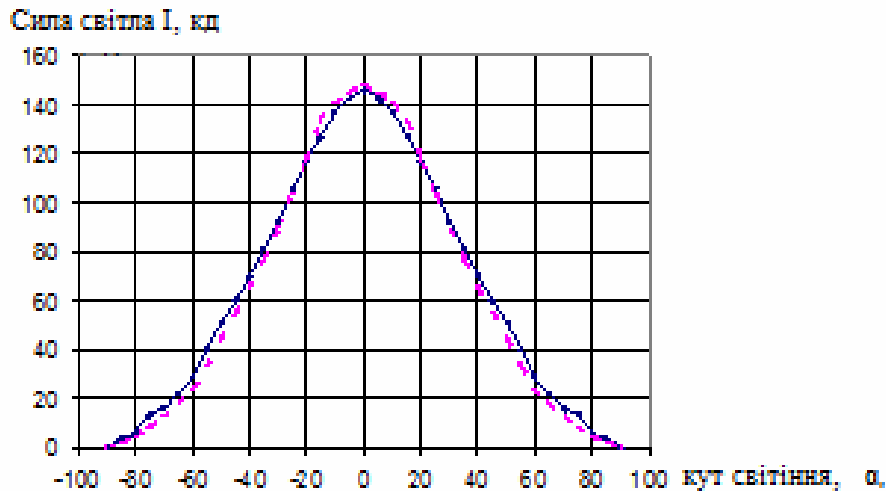


Рис. 7 – Криві сили світла на відстані 1 м від точки світіння: (--) – експериментальні; (-) – розрахункові

Висновки

1. Проведені дослідження дозволили встановити вимоги до бактерицидних установок.
2. Для визначених умов та призначення розроблено структуру енергоефективної бактерицидної установки на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла для багаторівневого знезараження води.
3. Дослідження умов роботи розробленої бактерицидної установки дозволили визначити її параметри та режими, що забезпечують умови її оптимального функціонування.
4. Розроблена методика моделювання КСС СД СП по відомій КСС одиничного світлодіода і експериментально доведена можливість її застосування для розрахунку і проектування бактерицидних установок на основі СД.

Список використаних джерел:

1. Иванов А.С. Определение минимальной эффективности ультрафиолетовой дозы облучения. Модельное облучение [Электронный ресурс] / А.С. Иванов. – Режим доступа : <http://www.wedeco.su/stati/101-modelnoe-obluchenie.html>.
2. Зеленков І.А. Електротехнологічні опромінювальні установки / І.А. Зеленков. – Київ : Вища школа, 2004. – 101 с.
3. Кошик О.Б. Аналіз методів моделювання кривих світлорозподілу світлодіодних джерел світла / О.Б. Кошик // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. – № 3. – С. 65-68.
4. Колотюк А.П. Моделювання світлових приладів на основі світлодіодів / А.П. Колотюк, В.О. Шевченко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 24-30.
5. Говоров Ф.П. Моделирование параметров и характеристик световых приборов на основе энергосберегающих светодиодных источников света / Ф.П. Говоров, Н.И. Носанов, Т.И. Романова, О.В. Король // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 95-96.

Bibliography:

1. Ivanov A.S. Determination of the minimum efficiency of ultraviolet radiation dose. Model irradiation [Electronic resource] / A.S. Ivanov. – Access mode : <http://www.wedeco.su/stati/101-modelnoe-obluchenie.html>.
2. Zelenkov I.A. Electrotechnological irradiation installations / I.A. Zelenkov. – Kiev : Vishcha

- shkola, 2004. – 101 p. (Ukr.)
3. Koshyk O.B. Analysis methods for modeling curves light distribution LED light sources / O.B. Koshyk // Lighting engineering and electroenergetics. – 2009. – № 3. – P. 65-68. (Ukr.)
 4. Kolotyuk A.P. Simulation of lighting devices based on LEDs / A.P. Kolotyuk, V.O. Shevchenko // Lighting engineering and electroenergetics. – 2010. – № 1. – P. 24-30. (Ukr.)
 5. Govorov F.P. Simulation of the parameters and characteristics of lighting devices on the basis of energy-saving led light sources / F.P. Govorov, N.I. Nosanov, T.I. Romanova, O.V. Korol // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 2. – P. 95-96. (Rus.)

Рецензент: С.С. Душкін
д-р техн. наук, проф., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

Стаття надійшла 08.10.2015

УДК 621.3.016.25

© Жежеленко І.В.¹, Нестерович В.В.²

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПЛАТЫ ЗА ПЕРЕТОКИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены методики оценки реактивной энергии, подлежащей оплате, при отсутствии результатов измерений на основе проектных расчетов. Рассмотрены и сопоставлены подходы к оценке платы за перетекание реактивной энергии, потребленной промышленным предприятием, принятые в Украине, России и Польше. Выявлены общие черты и различия рассмотренных методик. Дано обоснование понятия «реактивная мощность», используемого в работе.

Ключевые слова: реактивная мощность, реактивная энергия, перетоки реактивной энергии, система электроснабжения, экономический эквивалент реактивной мощности.

Жежеленко І.В., Нестерович В.В. Аналіз методів оцінки плати за перетікання реактивної енергії в мережах промислових підприємств. Розглянуто методики оцінки реактивної енергії, що підлягає сплаті, за відсутності результатів вимірювань на основі проектних розрахунків. Розглянуті і зіставлені підходи до оцінки плати за перетікання реактивної енергії, спожитої промисловим підприємством, прийняті в Україні, Росії та Польщі. Виявлено спільні риси і відмінності розглянутих методик. Дано обґрунтування поняття «реактивна потужність», що використовується в роботі.

Ключові слова: реактивна потужність, реактивна енергія, перетоки реактивної енергії, система електропостачання, економічний еквівалент реактивної потужності.

I.V. Zhezhelenko, V.V. Nesterovych. Assessment methods analysis of payments for reactive energy flows in the networks of the industrial enterprises. Assessment methods analysis of payments for reactive energy to be paid for in the absence of measurements results on the strength of design calculations have been studied. Approaches to payments assessment for flowing reactive energy consumed by an industrial enterprise, adopted by Ukraine, Russia and Poland have been examined and compared. Similarities and differences of the approaches under review have been revealed. The approach, acting in

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, kafedra.epp.pstu@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, nesterovych_v_v@pstu.edu