

**П. П. ГОВОРОВ, С. І. БУХКАЛО, А. К. КИНДИНОВА, К. В. ГОВОРОВА**

### **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

У матеріалах статті розглядається енергоефективна технологія знезараження питної води, що базується на використанні світлодіодних джерел світла для генерації ультрафіолетового випромінювання. Розроблені та досліджені деякі теоретичні та експериментальні моделі знезаражування води з урахуванням проведеного аналізу літературних джерел інформації. Запропоновано структуру системи знезараження води, методику та алгоритм розрахунку світлорозподілу світлодіодних джерел світла, що забезпечують ефективне використання електричної енергії на знезараження води.

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

**П. П. ГОВОРОВ, С. И. БУХКАЛО, А. К. КИНДИНОВА, К. В. ГОВОРОВА**

### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

В материалах статьи рассматривается энергоэффективная технология обеззараживания питьевой воды, основанной на использовании светодиодных источников света для генерации ультрафиолетового излучения. Разработаны и исследованы некоторые теоретические и экспериментальные модели обеззараживания воды с учетом проведенного анализа литературных источников информации. Предложена структура системы обеззараживания воды, методика и алгоритм расчета светораспределения светодиодных источников света, обеспечивающих эффективное использование электрической энергии на обеззараживание воды.

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

**P. P. HOVOROV, S. I. BUKHALO, A. K. KINDINOVA, K. V. HOVOROVA**

### **ENERGY-EFFICIENT WATER DISINFECTION SYSTEM BASED ON LED LIGHT SOURCES**

In the article the energy-efficient technology of disinfection of drinking water which is based on the use of LED light sources for generating ultraviolet radiation. Some theoretical and experimental models of water disinfection have been developed and investigated. The structure of the system of water disinfection technique and algorithm for calculating the light distribution of LED light sources that provide efficient use of electricity in the disinfection of water. The fragmentation algorithm is attached for the development of the bactericidal anti-infection system. The authors have devised a methodology for the synthesis of light on the basis of the distorted power of a single light switch of a light switch. The problem associated with the need to improve the efficiency of water disinfection at the stages of its treatment in an increasingly unfavorable trend of deterioration of microbiological parameters in the reservoirs of the first category is considered. Historical facts of development and the application of this technology in the water treatment system are described.

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

#### **Вступ.**

Відомі методи очищення води, а також системи та схеми її знезаражування не спроможні забезпечити сучасні вимоги до якості питної води і не в повній мірі відповідають вимогам енергоефективності у зв'язку із застосуванням малоефективної техніки та технологій, а також забезпечення безпеки життєдіяльності населення. Класифікація-ідентифікація методів знезаражування води має загальні підходи до визначення її складових: 1) хімічні 2) фізико-хімічні або комбіновані; 3) фізичні – механічні, електричні, променеві, акустичні, термічні.

Загальні питання за темою можна визначити алгоритмом дії: 1) Вибір методу знезараження питної води.

2) Фактори, що впливають на ефективність обраного методу знезараження. 3) Порівняльна характеристика методів знезараження питної води. 4) Вибір та розрахунки оптимальних параметрів системи знезараження.

Існуючі бактерицидні установки (можна віднести до 3 групи) побудовані на використанні ультрафіолетових газорозрядних ртутно-аргонових або ртутно-кварцових ламп. Наявність у воді завислих речовин та низька світлова віддача ламп знижують ефективність процесу знезаражування. Крім того, конструкція установок дозволяє здійснювати очистку води тільки в місцях що мають дуже високу бактеріальну забрудненість.

© Говоров П.П., Бухкало С.І., Кіндінова А.К., Говорова К.В., 2020

У зв'язку з цим установки для знезараження води на основі існуючих бактерицидних ламп являються малоєфективними, хоча досить привабливими взагалі, а пошук нових та вдосконалення існуючих технологій знезараження питної води є важливою і актуальною задачею. При цьому необхідно визначити – вода питної якості за органолептичними властивостями, мікробіологічним та хімічним складом, відповідає діючим санітарним нормам і правилам, а також безпечна для життя і здоров'я людини [1–6].

#### Результати дослідження.

Технологія ультрафіолетового опромінення при знезараженні питної та стічної води застосовується досить широко. При впливі на органічні клітини різних бактерій ультрафіолетовим випромінюванням спостерігається руйнація клітин мікроорганізмів у спектрі від 200 до 400 нм. [7] Такі можливості треба використовувати для підвищення ефективної роботи бактерицидних установок, необхідним є пошук енергоефективних джерел світла, що працюють в діапазоні 200–400 нм.

Як свідчить аналіз, високі техніко-економічні показники забезпечують бактерицидні установки, що працюють на основі використання світлодіодних джерел світла, які нарівні з покращенням енергетичних характеристик, забезпечують ще й можливість зменшення ефекту післядії за рахунок розосередження установки і багатоступеневі структури системи 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.

Тому, для виявлення загальних закономірностей створення світлового простору світлодіодними світловими приладами авторами розроблена методика синтезу світлових приладів на основі відомої кривої сили світла (КСС) одиничного світлодіодного джерела світла. Для формування кривої сили світла приладу використана модель виду [8]:

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

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 свічення 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. 1 представлений алгоритм розрахунку параметрів і характеристик світлових приладів на основі світлодіодних джерел світла.

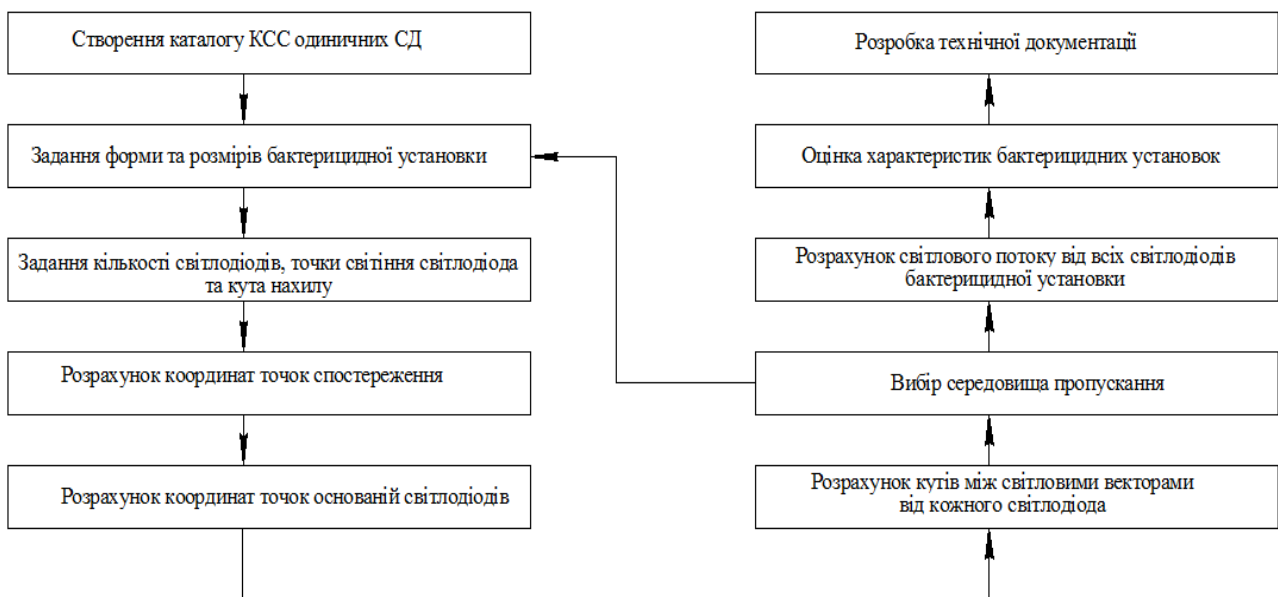


Рис. 1 – Алгоритм розрахунку бактерицидних установок зі світлодіодними джерелами світла

Результатом розрахунку є графік світлорозподілу в площині, де розташовані точки спостереження. Графік є кривою сили світла (КСС) в довільно вибраній площині, що проходить через вісь 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 використовуються КСС одиничних світлодіодів (СД), що наведені в паспортних даних. 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 кроку 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, задаючого вісь світлодіода.

Застосування розробленої методики дозволяє розрахувати КСС від СДЛ для любых 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  $XOZ$ .

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 [8]:

- відстань до точок розрахунку  $R$  від нульової точки системи координат;

- крок зміни кута при руху 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. 2 зображена геометрична інтерпретація отримання координат точок розрахунку в результаті обертання точки розрахунку навколо центру координат.

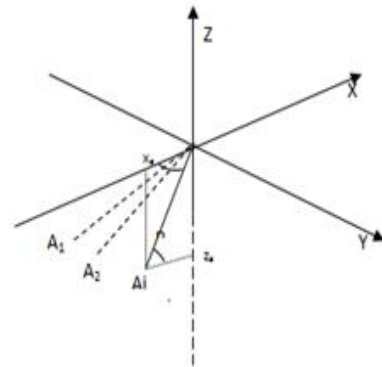


Рис. 2 – Визначення координат точок розрахунку

Координати двох точок простору, вказані в певному порядку, задають єдиний вектор. Таким чином, якщо задати дві точки, що лежать на промені осьової сили світла світлодіода. 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 променю 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 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:

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

Координати точки перетину гіпотенузи з віссю OZ (0, 0,  $z_s + b$ ). На рис.3 зображена геометрична інтерпретація отриманих координат точок основи світлодіодів.

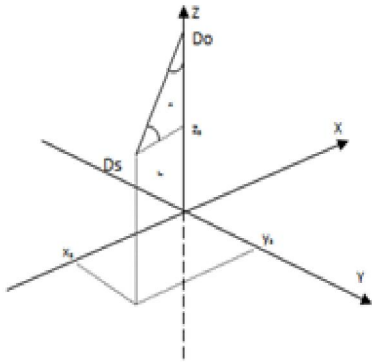


Рис. 3 – Визначення координат точки основи світлодіода

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.

Для розрахунку сили світла від оптичного центру світлодіода до точки розрахунку, визнається кут між вектором, задаючим 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 здобутком двох векторів  $a(x_a, y_a, z_a)$  і  $b(x_b, y_b, z_b)$  є сума множень 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 точку спостереження, визначаються точки початку і кінця для кожного з векторів. На рис. 4 зображена геометрична інтерпретація отримання кута між векторами, що задають вісь світлодіода і вектором з оптичного центру світлодіода, спрямованого в точку спостереження (вектор спостереження).

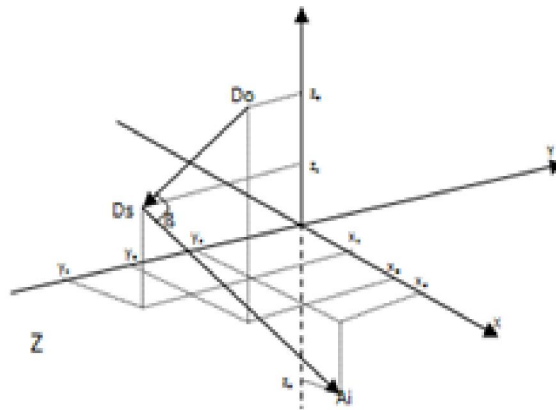


Рис. 4 – Визначення кута між віссю світлодіода і вектором розрахунку

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  $A_i$ .

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 обчислюється їх скалярний добуток:  $DA = |D| \cdot |A| \cdot \cos(\beta)$ .

Використовуючи раніше знайдені довжини векторів і функцію  $\arccos$ , знаходиться необхідний кут. Використовуючи отриманий кут між вектором, задаючим вісь світлодіода і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки спостереження і провівши інтерполяцію з використанням функції апроксимації кубічного

сплайна для вибраного світлодіода, вичислюємо силу світла від конкретно взятого світлодіода у вибраній точці спостереження. Підсумкове значення, отриманих сил світла від усіх світлодіодів СДЛ, надає інформацію про силу світла в даній точці спостереження.

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 основ світлодіодів. Тому, він може бути застосований для будь-яких довільно вибраних точок спостережень, основ світлодіодів і середовища їх розташування, що робить алгоритм придатним для розрахунку світлорозподілу від світлодіодних систем бактерицидного знезараження води.

#### **Зв'язок проведених досліджень з розробками заходів і проектів екологічної безпеки.**

Додатково до викладеного матеріалу необхідно формувати у студентів усіх рівнів навчання знання про теоретичні і правові засади нормування в Україні принципів якості довкілля та категорій нормативних документів, з визначенням системи понятійної термінологічної бази якості довкілля [9–13]. Завдання розвитку таких закономірностей пов'язані з визначенням місця і ролі нормування основних характеристик в системі заходів підвищення якості та рівнів екологічної безпеки довкілля:

- основні положення в галузі стандартизації та нормування якості довкілля;
- поняття та визначення – ідентифікація-класифікація системи;
- категорії нормативних документів;
- систему нормативних документів, які регламентують якість повітря, води та водних об'єктів, ґрунтів та ін.;
- класифікація системи різновидів відходів та ідентифікація-класифікація твердих побутових відходів (ТПВ);
- санітарно-гігієнічне значення централізованого водопостачання населених пунктів;
- системи методів покращення якості води і технологічні процеси обробки води;
- сучасні ресурсо- та енергозберігаючі способи освітлення води (видалення завислих речовин у відстійниках, флоатція, фільтрування та ін.);
- безпечні способи знебарвлення води шляхом коагуляції, напірної флоатції, окислювачами (хлор, озон, перманганат калію), сорбентами (активоване вугілля) та ін.;
- системи комплексних способів знезараження води;
- системи коагуляція води (коагулянти, флокулянти, організація реагентного господарства, дозування реагентів);
- сучасні системи відстоювання води;

- сучасні системи фільтрування води;
- сучасні екологічно-безпечні системи хлорування питної води (реагенти, механізми та діапазони бактерицидної дії; методи хлорування води, дозування реагентів; обладнання для хлорування; контроль ефективності хлорування води, переваги та недоліки);

- сучасні екологічно-безпечні системи знезараження води озоном (механізм бактерицидної дії, озонаторні установки, контроль ефективності, переваги та недоліки);

- переваги та недоліки сучасних екологічно-безпечних систем знезараження води УФ-промінням, іонами срібла, йодом, ультразвуком, гамма-випромінюванням, контроль їх ефективності;

- попередній санітарний нагляд за покращенням якості води на водопроводах;

- поточний санітарний нагляд за ефективністю покращення якості води на водопроводах.

Гарантоване постачання населенню України питної води, що є безпечною для здоров'я та належної якості, забезпечують два основоположні законодавчі документи: Водний кодекс України та закон України «Про питну воду та питне водопостачання» [1, 2, 5]. Одним із завдань, що спрямовані на досягнення вищезазначеної мети, є об'єктивне оцінювання екологічного стану і якості поверхневих та підземних вод – джерел централізованого питного водопостачання, на основі екологічних та гігієнічних показників та критеріїв, що відповідають вимогам стандартів, способів, методів та технологій, прийнятих в ЄС [6]. Класифікація якості поверхневих та підземних вод України – джерел питного водопостачання – є морально та змістовно застарілою.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.** Результати дослідження показали можливість їх застосування.

1. Проведені дослідження дозволили встановити науково-обґрунтовані вимоги до бактерицидних установок.

2. Для визначених умов та призначення запропоновано структуру енергоефективної бактерицидної установки на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла, що забезпечує розосереджене багаторівневе знезараження води.

3. Розроблена методика моделювання КСС СД СП по відомій КСС одиничного світлодіода і обґрунтована можливість її застосування для розрахунку і проектування бактерицидних установок на основі СД.

Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри енергоефективної бактерицидної установки на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла. Під час досліджень встановлена необхідність формулювання оцінки характеристик бактерицидних установок.

Слід відмітити, постійне зростання попиту на безпеку життєдіяльності людини, що, насамперед, пов'язане з факторами її визначення: сучасних характеристик в системі заходів підвищення якості та рівнів екологічної безпеки довкілля; застосування високоефективних інноваційних технологій, техніки та обладнання з метою забезпечення безпеки життєдіяльності населення; вивчення даних про принцип дії ультрафіолетового випромінювання і самому впливі знезараження ультрафіолетового випромінювання на мікроорганізми, що знаходяться у воді, і є джерелом забруднення; вивчення даних про існуючі зараз проблеми при очищенні води шляхом ультрафіолетового опромінення; збір,

систематизація, аналіз уже відомих даних і результатів різних досліджень, експериментів по знезараженню води методом ультрафіолетового опромінення; внесення пропозиції щодо вдосконалення систем водопідготовки із знезараження води методом ультрафіолетового опромінення.

Ці фактори, у свою чергу, стимулюють подальше розвинення досліджень з метою розробки сучасних енергоефективних систем знезараження води на основі світлодіодних джерел світла та її впровадження [1–8, 14], а також сприяють розвитку створення інтелектуальної власності студентами та аспірантами [9–21].

### Список літератури

1. Загальнодержавна програма «Питна вода України» на 2006-2020 роки, затверджено Законом України від 03.03.2005 р., №2455-IV.
2. Центральна санітарно-епідеміологічна станція МОЗ України «Про стан джерел водопостачання та якість питної води в Україні», Київ – 2002.
3. Гончарук В.В. и др. Обеззараживание природных вод озонированием совместно с УФ-облучением // Химия и технология воды, 2005, т. 27, № 3. С 266 – 282.
4. Гончарук В.В. и др. Разработка эколого-гигиенической классификации качества поверхностных вод Украины – источников централизованного питьевого водоснабжения // Химия и технология воды, 2003, т. 25, № 2. – С. 106 – 128.
5. Водний кодекс України. – Київ, 1995. – 06.06.05. 10. Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» від 10.01.02 № 2918-III.
6. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official J. of the European Communities, L 327/1, 22.12.2000/EN.
7. Зеленков І.А. Електротехнологічні опромінювальні установки: Вища школа. – К. 2004 – 101с.
8. 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. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Ч. 2. – Київ: ІЕДНАН України, 2012. – С. 95 – 101.
9. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
11. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
12. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zippunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
13. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
14. Походило Є.В., Гонсьор О.Й. Формування методичних засад для вибору способу оброблення води, призначеної для споживання людиною, 2006 Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
15. Бухкало С.І., Сериков А.В., Ольховская О.И. и др. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / С.И. Бухкало, А. В. Сериков, О.И. Ольховская и др. // Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ». 2012. – № 10. – с. 160–166.
16. Бухкало С.І., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов // Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ». 2012. – № 10. – с. 72–80.
17. Бухкало С.І. Ресурсосберегающие технологии использования полимерных отходов. Интегрированные технологии та энергосбережения. Харків. НТУ «ХПІ», 2001, № 2, с. 106–112.
18. Zippunnikov, Mykola; Bukhkalov, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144>. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
19. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhkalov, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66-73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/186442>.
20. Bukhkalov, S. I., Klemes, J. J., Tovazhnyansky, L. L., Arsenyeva, O. P., Kapustenko, P. O., & Perevertaylenko, O. Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
21. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and

calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.  
doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.

#### References (transliterated)

- Zagal'noderzhavna programa «Pitna voda Ukraïni» na 2006-2020 roki, zatverdzheno Zakonom Ukraïni vid 03.03.2005 r., №2455-IV.
- Central'na sanitarno-epidemiologichna stancija MOZ Ukraïni «Pro stan dzherel vodopostachannja ta jakist' pitnoï vodi v Ukraïni», Kiïv – 2002.
- Goncharuk V.V. i dr. Obezrazhivanie prirodnyh vod ozonirovaniem sovместno s UF-oblucheniem // Himija i tehnologija vody, 2005, t. 27, № 3, pp 266 – 282.
- Goncharuk V.V. i dr. Razrabotka jekologo-gigienicheskoj klassifikacii kachestva poverhnostnyh vod Ukrainy – istochnikov centralizovannogo pit'evogo vodosnabzhenija // Himija i tehnologija vody, 2003, t. 25, № 2, pp. 106 – 128.
- Vodnij kodeks Ukraïni. – Kiïv, 1995. – 06.06.05. 10. Zakon Ukraïni «Pro pitnu vodu ta pitne vodopostachannja» vid 10.01.02 № 2918-III.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official J. of the European Communities, L 327/1, 22.12.2000/EN.
- Zelenko I.A. Elektrotehnologichni oprominjuval'ni ustanovki: Vishha shkola. – K. 2004. – 101p.
- Govorov F.P. Modelirovanie parametrov i charakteristik svetovyh priborov na osnove jenergosberegajushhijh svetodiodnyh istochnikov sveta / F. P. Govorov, N. I. Nosanov, T. I. Romanova, O. V. Korol' // Tehnichna elektrodinamika. Tem. vipusk «Silova elektronika ta energoefektivnist». Ch. 2. – Kiïv: IEDNAN Ukraïni, 2012, pp. 95–101.
- Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noï tehnologii kompleksnih kursovyh proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 217.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
- Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noï vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
- Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2019. № 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
- Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017): Ch. III, – p. 14.
- Pohodilo Ć.V., Gons'or O.J. Formuvannja metodichnih zasad dlja viboru sposobu obroblennja vodi, priznachenoï dlja spozhivannja ljudinoju, 2006. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
- Bukhhalo S.I., Serikov A.V., Ol'hovskaja O.I. i dr. Ob utilizacii polimernyh othodov kak kom-plekse innovacionnyh proektiv. Visnik NTU «KhPI». 2012. № 10, pp. 160–166.
- Bukhhalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr. Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predprijatijah po pererabotke othodov // Visnik NTU «KhPI». 2012. № 10, pp 72–80.
- Bukhhalo S.I. Resursosberegajushhie tehnologii ispol'zovanija polimernyh othodov. Integrovani tehnologii ta energosberezhenija. Kh.: NTU «KhPI», 2001, № 2, pp. 106–112.
- Zipunnikov Mykola; Bukhhalo Svetlana; Kotenko Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2>, pp. 138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/frujc/article/view/258>.
- Bilous O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
- Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
- Bilous O., Demidov I., Bukhhalo S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.

Надійшла (received) 19.02.2020

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бухало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svetlana Ivanovna, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

**Говоров Пилип Парамонович (Govorov Philip Paramonovich, Novorov Pylyp Paramonovich)** – доктор технічних наук, професор кафедри, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0379-1448>; e-mail: philip.govorov@gmail.com

**Кіндінова Анастасія Костянтинівна (Kindinova Anastasiya Konstantinivna, Kindinova Anastasiia Kostyantynivna)** – магістерка, Харківський Національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2575-0767>; e-mail: kindinova.anastasiia@gmail.com

**Говорова Катерина Владленівна (Govorova Kateryna Vladlenivna, Novorova Kateryna Vladlenivna)** – аспірантка Харківського Національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, молодший науковий співробітник ННЦ «Інститут метрології», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0893-8605>; e-mail: english.beatles2015@gmail.com