

П.П. ГОВОРОВ, д-р техн. наук, проф. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

О.В. КОРОЛЬ, наук. співр. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

Т.І. РОМАНОВА, канд. техн. наук, наук. співр. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТ

Вступ. 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 знезаражування 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 малоефективних 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 чохлах в центрі металевого корпусу. Знезаражування 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 знезаражування. 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 малоефективними, хоча досить привабливими взагалі. Тому пошук нових та вдосконалення існуючих технологій знезараження питної води є актуальною проблемою великої ваги.

Постановка задачі. 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 структури та параметрів бактерицидних установок на основі світлодіодних джерел світла, схем їх живлення та керування. Для електроспоживання установок знезараження води використовується в основному трифазна чотирипровідна система з глухозаземленою нейтраллю живильного трансформатора змінного струму напругою 380/220 В, з частотою 50 Гц [3]. Від неї живляться як трифазні, так і однофазні силові приймачі та освітлювальне навантаження [4].

Наряду з багатьма перевагами ця система має і ряд недоліків. Основні з них є:

- несиметричні режими, які виникають при випадковому вмиканні та вимиканні силових однофазних приймачів та освітлювального навантаження. При світлодіодних джерелах світла (СД ДС) несиметрія виникає навіть при однакових ефективних струмах в фазах за рахунок різних характеристик СД ДС (індуктивного або ємнісного) та за рахунок різної деградації світлодіодів (СД), яка збільшується з часом та впливає на значне зниження світлового потоку освітлювальних приладів. Все це призводить до додаткових втрат, додаткових витрат електроенергії, збільшенню капітальних витрат на провідникові матеріали з кольорових металів. Крім того, в системі виникають вищі гармонічні складові струму і напруги, що також впливає на якість електроенергії, втрати та зниження коефіцієнту потужності [5];
- система змінного струму напругою 380/220 В не забезпечує повної електробезпеки оточуючих [6];
- при експлуатації системи 380/220 В є можливість несанкціонованого відбору електроенергії та ін.

Це 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 створення бактерицидних установок на основі світлодіодних джерел світла та визначенню вимог до структур та параметрів бактерицидних установок на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла.

Аналіз публікацій. На початку двадцятого століття між фахівцями йшли запеклі суперечки про переваги та недоліки СД ДС використання для цілей електропостачання мереж постійного і змінного струмів. Склалося так, що перевагу було віддано трифазним мережам змінного струму. Але майже за сто років перетворювальна техніка зазнала істотної зміни, і якщо ще 25 років тому інвертори і напівпровідникові перетворювачі були прерогативою оборонної промисловості, то сьогодні вони знаходять широке застосування в промисловості та побуті. Багато світлотехнічних приладів мають імпульсні блоки живлення, які можуть працювати як в ланцюгах змінного, так і постійного струму [7]. Більш того в [8] відмічається, що 80% потужності низьковольтного навантаження витрачається на постійному струмі, що вимагає повторних досліджень. Тому дослідження типів та варіантів живлення бактерицидних установок на основі СД Дс є актуальними.

Матеріали досліджень. Для дослідження проблеми підвищення ефективності систем знезараження систем водопостачання міст мікроорганізмами пропонується розподілена система знезараження води (рис. 1), основана на використанні енергоефективних ультрафіолетових світлодіодних джерел світла. Це відкриває можливість структурно розташовувати бактерицидні установки після кожної операції в системах водопостачання міст, що дає можливість уникнути повторного розвитку мікроорганізмів, так як при впливі на органічні клітини різних бактерій ультрафіолетовим випромінюванням спектрального складу від 200 до 400 нм спостерігається руйнація клітин.

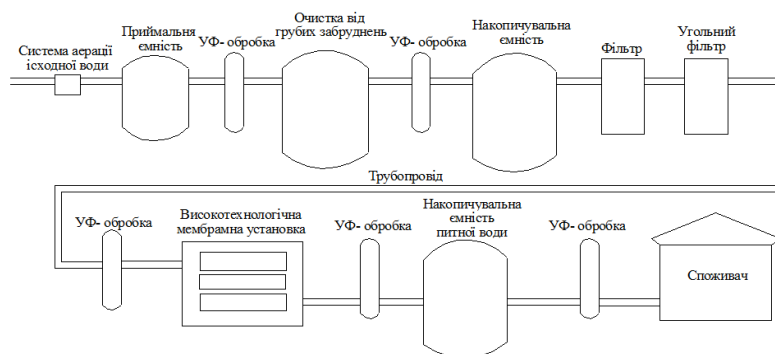


Рис. 1 – Структура системи очистки води на основі світлодіодних джерел світла

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 $\lambda \leq 300\text{нм}$. Дослідження процесів в установках бактерицидної дії [2] дозволило визначити область їх ефективної дії (рис. 2). Аналіз графічних залежностей, наведених на рис. 6, приводить до висновків, що найбільшу ефективність бактерицидних установок забезпечує джерела світла з довжиною хвилі 254 – 258 нм. В дослідницької лабораторії Nippon Telegraph and Telephone Corporation, під керівництвом доктора Йошитака Танясу створено діоди на основі нітриду алюмінію, які дозволяють випромінювати світло в ультрафіолетовому діапазоні з довжиною хвилі 210 нм. Саме ці світлодіоди і розглядаються у якості об'єкту досліджень даної роботи. Однак широке впровадження таких джерел світла в установках бактерицидної дії вимагає дослідження способів та схем їх живлення.

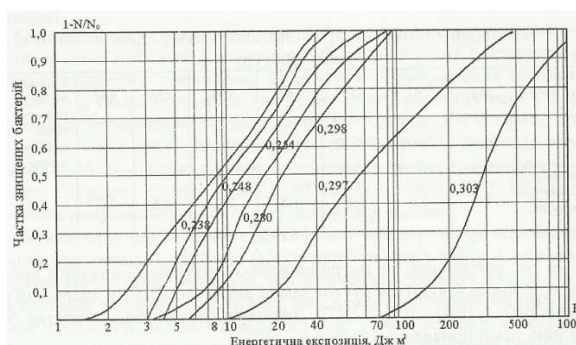
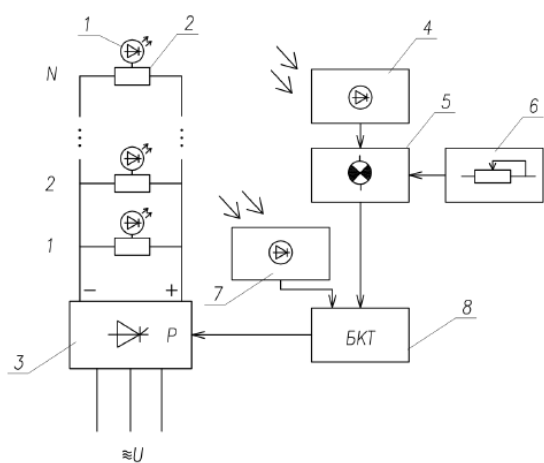


Рис. 2 – Спектр ефективної бактерицидної дії випромінювання

Для мінімізації рівня енерговитрат в системах знезараження води з урахуванням несиметрії і несинусоїдальності струмів і напруг в освітлювальних електричних мережах із СД ДС в роботі запропонована комплексна схема живлення споживачів, при якій живлення силових споживачів відбувається від мережі змінного струму, а освітлювальних – від мережі постійного струму. Для вирішення питань регулювання та симетрування струмів та напруг запропоновано використання в схемі живлення систем знезаражування симетруючого тиристорного регулятора напруги (СТРН) (рис. 3), застосування якого виключає виникнення несиметричних режимів у мережах живлення при випадковому включенні електроприймачів і деградації СД ДС, а також знижує рівень вищих гармонік на стороні трифазної мережі. В цьому випадку відкривається можливість для живлення СД ДС постійним струмом через драйвери DC/DC спрощеної конструкції.

Застосування в системі живлення СД ДС зворотного зв'язку за світловим потоком Φ (рис. 3) дозволяє додатково підтримувати задане значення світлового потоку незалежно від режиму та деградації СД ДС, шляхом зміни кута γ відмикання тиристорів (рис. 4).



- 1 – СД ДС;
- 2 – груповий драйвер DC/DC;
- 3 – СТРН;
- 4 – фотодатчик;
- 5 – вузол порівняння;
- 6 – пристрій задання номінального світлового потоку;
- 7 – вимикач (фотореле);
- 8 – блок управління тиристорами

Рис. 3 Схема включення N-ої кількості однофазних СД ДС в трифазній чотирипровідній мережі за групою з живленням від мережі постійного струму в поєднанні з СТРН і зворотним зв'язком за світловим потоком

Дослідження роботи СТРН показало, що при різних схемах живлення СД ДС його енергетичні показники прийнятні тільки при малій глибині регулювання й малих кутах відмикання тиристорів, а найбільш придатним варіантом включення СТРН є живлення за схемою (рис. 5 а). Його можна рекомендувати для роботи в електричних мережах з плавним регулюванням напруги від 60 до 120 В і кутах вмикання γ тиристорів від 90 до 0 градусів. При цьому забезпечуються високі енергетичні показники СТРН (рис. 5 б).

У разі застосування СТРН в поєднанні з живленням СД ДС постійним струмом, з'являється можливість відмови від системи 380/220 В і переходу до трипровідної мережі з ізолюваною нейтраллю. Це забезпечує додаткову економію за рахунок відсутності нульового проводу.

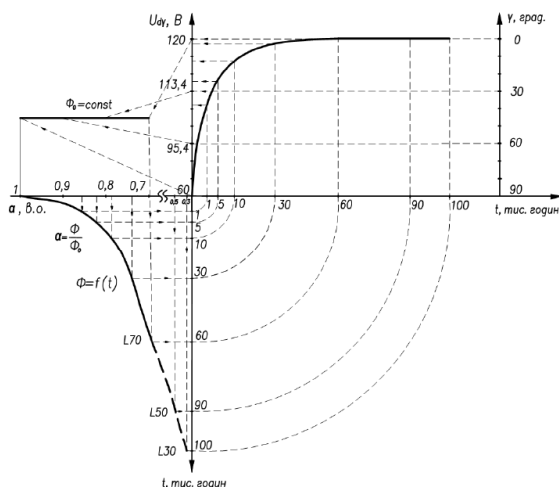


Рис. 4 Графічні залежності значення світлового потоку Φ_0 СТП на основі СД ДС від відносного зменшення потоку α і кута γ вмикання тиристорів СТРН

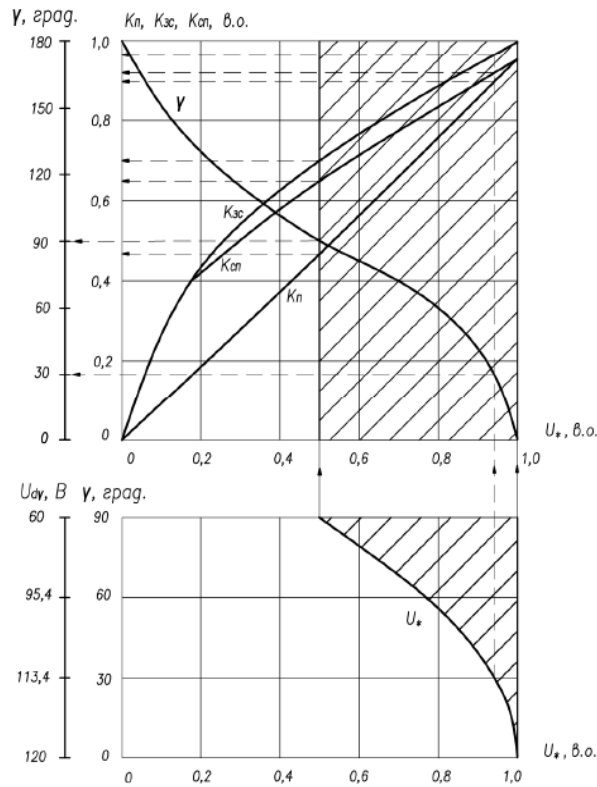
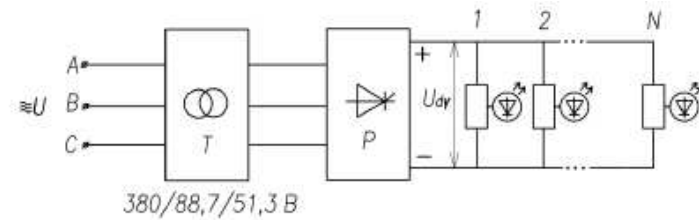


Рис. 5 Включення групи СД ДС в освітлювальну мережу через трифазний мостовий симетруючий тиристорний регулятор напруги з понижуючим трансформатором 380/88,7/51,3 В: а – схема включення; б – графічні залежності коефіцієнта потужності K_p , зсуву K_{zc} та вищих гармонік K_{sp} від рівня напруги U_* та кута вмикання γ тиристорів

Для оцінки ефективності різних схем живлення було проведено розрахунок значення зведених річних витрат $Z_{зв}$ за формулою:

$$Z_{зв} = E_n \cdot K + B \quad (1)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт відчислень; K – значення додаткових капітальних витрат; B – значення річних витрат (вартість електричної енергії, матеріалів, тощо).

Результати розрахунку зведених витрат при різних схемах підключення і способах регулювання СД ДС наведено на рис. 6.

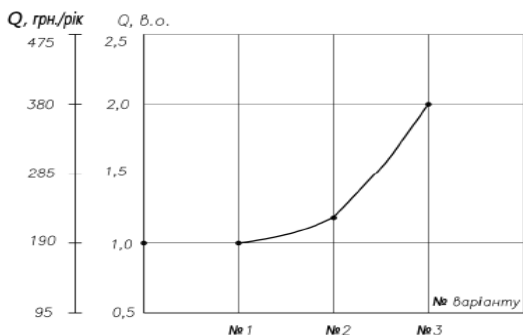


Рис. 6 Зведені розрахункові витрати Q в залежності від варіантів живлення СД ДС:

Варіант 1 – з однофазним тиристорним регулятором РТНО-220-5, який встановлюється на кожну фазу;

Варіант 2 – з трифазним трансформатором ТМ-0,5, 380/88,7/51,3 В, та симетруючим тиристорним регулятором постійного струму напругою 60-120 В;

Варіант 3 – з однофазним тиристорним регулятором РТНО-220-5 спільно з фільтрами 3-ї і 5-ї гармонік

В цілому, застосування СТРН (варіант 2) забезпечує зменшені витрати електроенергії на 7% та втрат напруги на 3-4%. При цьому вартість розподільної мережі зменшиться на 17%. Одночасно з цим збільшиться на 30% строк служби СД ДС. Крім того, додатковий ефект може бути отриманий від поліпшення якості освітлення, а також підвищення електробезпеки обслуговуючого персоналу і усунення несанкціонованого відбору електроенергії.

Висновки:

1. Застосування багатоступеневої системи знезараження води у поєднанні із використанням світлодіодних джерел світла забезпечує підвищення ефективності витрат електричної енергії на технологічні потреби.

2. Використання системи постійно-змінного струму збільшує надійність роботи, як силового, так і освітлювального обладнання, оскільки для роботи використовується напруга 60-120 В, вона забезпечує електробезпеку оточуючих, (припустиме значення напруги дотику DC $U_L \leq 120$ В), а також робить неможливим несанкціонований відбір електроенергії.

3. Застосування СТРН дозволяє зменшити вищі гармонічні складові струму і напруги в мережі змінного струму та збільшити коефіцієнт потужності мережі.

4. При переході на постійний струм і живленні від СТРН, нульовий провід N відсутній, а мережі постійного струму можна виконувати з некольорових матеріалів, наприклад, сталевалюмінієвих проводів, що призводить до зменшення витрат.

Список літератури: 1. *Иванов А.С.* Определение минимальной эффективности ультрафиолетовой дозы облучения. Модельное облучение // <http://wedeco.su/stati/101-modelnoe-obluchenie.html>. 2. *Зеленков І. А.* Електротехнологічні опромінювальні установки: Навч. посібник. – К. 2004 – 101 с. 3. *Носанов Н.И.* Электроснабжение жилых и общественных зданий городов: Учебное пособие // *Н.И. Носанов, В.П. Коптиков/* Донецк: «Донбасс», 2003. – 508 с. 4. Справочная книга по светотехнике: справочное издание / под ред. *Ю.Б. Айзенберга.* – 3-е изд., перераб. – М.: [Б.и.], 2008. – 952 с. 5. *Жежеленко И.В.* Электромагнитная совместимость потребителей: моногр. / *И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др.* // М.: Машиностроение, 2012. – 351 с. 6. Межгосударственный стандарт. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током (МЭК 364-4-41-92): ГОСТ 30331.3-95. Введ. 01.01.2002. // М.: ИПК издательство стандартов. – 2002. – 17 с. 7. Будущее за системами электропитания постоянного тока? // [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://electric.info/mail/fakty/104-budusheezasistemami-yelektrosnabzheniya.html>. 8. *Maury Wright.* Lighting industry progresses on DC-power grids that pair well with LEDs // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-10/issue-6/features/lighting-industry-progresses-on-dc-power-grids-that-pair-well-with-leds-magazine.html>.

Bibliography (transliterated): 1. *Ivanov A.S.* Opredeleniye minimal'noy effektivnosti ul'trafiyoletovoy dozy oblucheniya. Model'noye oblucheniye // <http://wedeco.su/stati/101-modelnoe-obluchenie.html>. 2. *Zelenkov Í. A.* Yeletrotekhnologíchní opromínýval'ní ustanovki: Navch. posíbnik. – K. 2004 – 101. Print. 3. *Nosanov N.I.* Elektrosnabzheniye zhilykh i obshchestvennykh zdaniy gorodov: Uchebnoye posobiye // *N.I. Nosanov, V.P. Koptikov/* Donetsk: «Donbass», 2003. – 508. Print. 4. *Spravochnaya kniga po svetotekhnike: spravochnoye izdaniye / pod red. YU.B. Ayzenberga.* – 3-ye izd., pererab. – M.: [B.i.], 2008. – 952. Print. 5. *Zhezhelenko I.V.* Elektromagnitnaya sovmestimost' potrebiteley: monogr. / *I.V. Zhezhelenko, A.K. Shidlovskiy, G.G. Pivnyak i dr.* // M.: Mashinostroyeniye, 2012. – 351. Print. 6. Mezghosudarstvennyy standart. Elektroustanovki zdaniy. Chast' 4. Trebovaniya po obespecheniyu bezopasnosti. Zashchita ot porazheniya elektricheskim tokom (MEK 364-4-41-92): GOST 30331.3-95. Vved. 01.01.2002. // M.: IPK izdatel'stvo standartov. – 2002. – 17. Print. 7. Budushcheye za sistemami elektrosnabzheniya postoyannogo toka? // [Yeletronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://electric.info/mail/fakty/104-budusheezasistemami-yelektrosnabzheniya.html>. 8. *Maury Wright.* Lighting industry progresses on DC-power grids that pair well with LEDs // [Yeletronniy resurs]. – Rezhim dostupu: www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-10/issue-6/features/lighting-industry-progresses-on-dc-power-grids-that-pair-well-with-leds-magazine.html.

Надійшла (received) 31.08.2015