



ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЮВАННЯ (ЧАСТИНА 1)

С.М. Шаляпін, дійсний член Інженерної Академії України, Т. С. Шаляпіна, к.т.н.
(ХАРКІВСЬКА ІНЖЕНЕРНА КОМПАНІЯ)

На сьогоднішній день для знезараження води все більш використовується екологічно безпечна технологія УФ опромінення. УФ випромінювання виявляється згубним для більшості мікроорганізмів, які присутні у воді. Особливо небезпечними УФ промені виявляються для бактерій і вірусів, які збуджують такі небезпечні захворювання, як дизентерія, холера, тиф, туберкульоз, вірусний гепатит, поліомієліт та інші. УФ знезараження води здійснюється за рахунок прямої дії ультрафіолетових променів на клітинну та молекулярну структуру мікроорганізмів, викликаючи їх загибель. Знезараження води за допомогою УФ променів здійснюється без внесення в воду будь-яких шкідливих хімічних сполучень. Єдиною умовою застосування метода УФ знезараження є правильно вибрана доза УФ опромінення, тобто кількість ультрафіолетової енергії, яка необхідна для знищення мікроорганізмів, що знаходяться у воді, та достатня прозорість води, що знезаражується. Розглянемо основні фактори, які впливають на ефективність знезараження води.

Вплив прозорості стічної води на ефективність її знезараження

Для забезпечення високої ефективності знезараження доза УФ опромінення повинна бути вибрана з урахуванням прозорості води, тобто з врахуванням ступеня її попереднього очищення. На прозорість води значно впливає наявність у воді звислих речовин та присутність у воді органічних сполучень.

На рис. 1 приведена узагальнена залежність коефіцієнту поглинання ультрафіолетового випромінювання α в залежності від наявності у воді звислих речовин.

Коефіцієнт поглинання α характеризує кількість ультрафіолетової енергії, яка була поглинута водою, при проходженні УФ про-

менів через шар води і розраховується за формулою:

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{E_1}{E_0},$$

де α – коефіцієнт поглинання ультрафіолетового випромінювання, см^{-1} ;
 x – товщина шару води, см ;
 E_1 – інтенсивність УФ випромінювання на поверхні води, $\text{мВт}/\text{см}^2$;
 E_0 – інтенсивність УФ випромінювання після проходження шару води завтовшки x см .

Величину поглинутої енергії УФ опромінення можна визначити як різницю між енергією, яка була випромінена УФ лампами і енергією, яка пройшла через шар води завтовшки x см :

$$D = \Delta E \cdot t = (E_0 - E_1) \cdot t = E_0 (1 - e^{-\alpha x}) \cdot t$$

Кількість поглинутої енергії D іноді називають УФ дозою, або дозою УФ опромінення.

Інтенсивність УФ опромінення E_0 і коефіцієнт поглинання ультрафіолетового випромінювання α є дуже важливими параметрами при виборі типу ультрафіолетової установки для знезараження будь-яких вод, а особливо

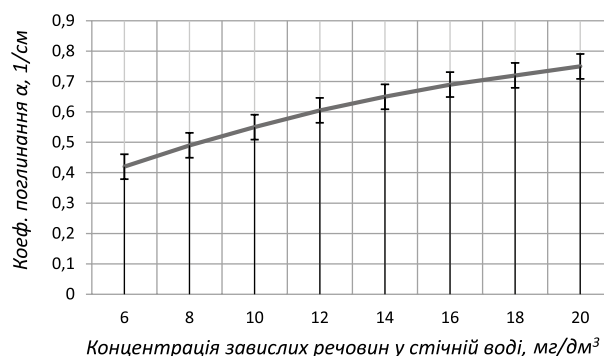


Рис. 1. Залежність коефіцієнту поглинання УФ випромінювання α в залежності від наявності у стічній воді звислих речовин. Вимірювання проводилися на довжині хвилі УФ випромінювання $\lambda = 253,7$ нм



стічних. Чим менше величина коефіцієнту поглинання α , тобто чим чистіша вода, тим менша доза ультрафіолетового опромінювання потрібна для її знезараження.

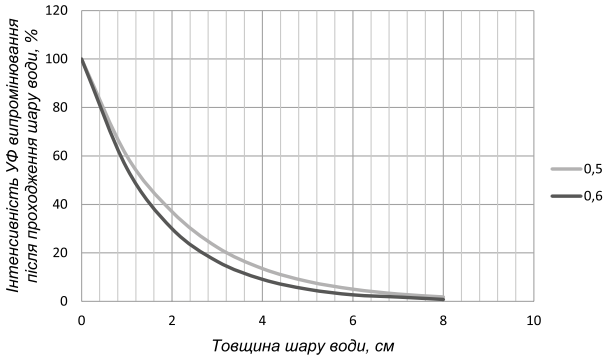


Рис. 2. Інтенсивність УФ випромінювання після проходження шару стічної води в залежності від величини коефіцієнту поглинання α ($\alpha_1 = 0,5 \text{ см}^{-1}$, $\alpha_2 = 0,6 \text{ см}^{-1}$)

Як видно з цієї діаграми, інтенсивність УФ променів доволі швидко знижується в залежності від товщини шару води, через який вони проходять. При розрахунках УФ установок для знезараження води рівень остаточної інтенсивності УФ променів вибирають на рівні 10-15% від початкового значення E_0 . Такий рівень остаточної інтенсивності УФ опромінення гарантує доволі надійні показники знезараження. Цьому рівню остаточної інтенсивності відповідає шар води завтовшки 4-5 см. При більш високому рівні остаточної інтенсивності УФ променів (більше 15%) значна частка УФ енергії

може бути невикористаною. При меншому рівні остаточної інтенсивності УФ опромінювання зростає кількість води, яка не отримує необхідну для знезараження кількість УФ енергії.

Вплив УФ опромінення на мікроорганізми, які знаходяться у воді

Закономірність зменшення кількості мікроорганізмів, які знаходяться у воді, описується наступною формулою [2]:

$$P_1 = P_0 e^{-\Delta E t / k} = P_0 e^{-D / k},$$

де P_1 - Кількість мікроорганізмів, які залишилися у воді після її УФ опромінення;
 P_0 - Кількість мікроорганізмів, які знаходилися у воді перед початком її опромінення;
 ΔE - Інтенсивність УФ випромінювання, мВт/см²;
 k - Коефіцієнт, який характеризує стійкість мікроорганізму до дії УФ променів;
 t - Тривалість опромінення, с;

$D = \Delta E \cdot t$ - величина енергії УФ опромінення, яка була поглинута водою, або доза ультрафіолетового опромінювання, або доза УФ опромінення, мДж/см².

Потрібно зазначити, що значення коефіцієнту стійкості мікроорганізмів до дії УФ променів k залежить від типу мікроорганізмів і для різних типів мікроорганізмів значення цього коефіцієнту відрізняється одне від одного.

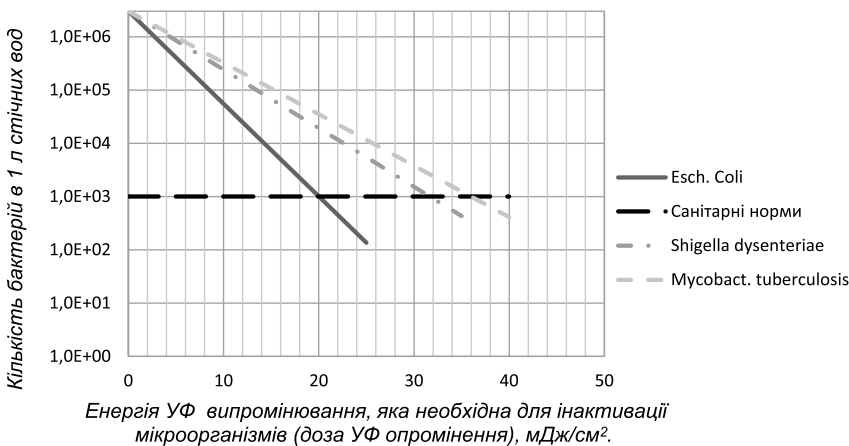


Рис. 3. Зниження кількості бактерій в 1 літрі води в залежності від дози УФ опромінення для деяких бактерій: 1 - Escherichia Coli ($k = 2,5 \text{ мДж/см}^2$), 2 - Shigella dysenteriae ($k = 3,96 \text{ мДж/см}^2$), 3 - Mycobacterium tuberculosis ($k = 4,5 \text{ мДж/см}^2$), 4 - згідно СанПин 4630 - 88 [3] та СанПин 2.1.5.980-00 [4]

Враховуючи, що в стічній воді після біологічного очищення нерідко присутні шматки мулу, розміром декілька міліметрів, для знезараження стоків необхідно використовувати трохи завищенні дози УФ опромінення. Так, згідно діючих нормативних документів, доза УФ опромінення, яка необхідна для знезараження стічної води, не повинна бути меншою ніж 30 мДж/см² (300 Дж/м²). При цьому для підвищення надійності знезараження стічної води від наявних у ній вірусів ре-

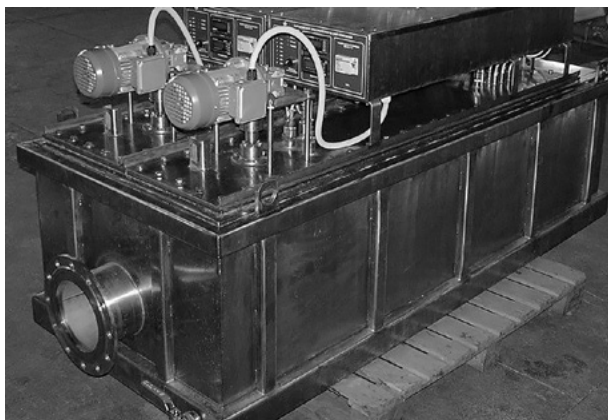


Рис. 4. Установки для знезараження стічних вод корпусного типу з системою механічного очищення кварцових колб.

комендується застосовувати підвищену дозу УФ опромінення – 40 мДж/см² (400 Дж/м²) [1]. Слід зауважити, що ефективність знезараження води не залежить від спектральних характеристик УФ ламп, які використовуються в УФ установках. Тобто, для знезараження води можуть використовуватися УФ установки, в яких встановлені як УФ лампи низького тиску, так і УФ лампи середнього тиску. При використанні УФ установок з УФ лампами середнього тиску питомі витрати енергії, яка необхідна для знезараження води будуть у 4 рази вищі, ніж при використанні УФ установок з лампами низького тиску.

Ультрафіолетові системи знезараження стічної води

На практиці для знезараження стічної води широко використовується знезаражуючі системи з заглибленими у воду ультрафіолетовими випромінювачами. Такі системи, на відміну від знезаражуючих систем з незаглибленими УФ випромінювачами, дозволяють максимально повно (понад 90%) використовувати енергію УФ опромінення.

УФ установки корпусного типу складаються з камери знезараження і шафи управління. Камера знезараження являє собою металевий корпус, усередині якого розташовані ультрафіолетові лампи і механізм для очищення захисних колб. Для запобігання безпосереднього контакту з водою, що знезаражується і стабілізації температури УФ ламп, вони поміщуються в колби зі спеціальну (прозорого в УФ-С діапазоні) кварцового скла. Корпус камери знезараження і механізм очищення кварцових колб



Рис. 5. УФ установки знезараження стоків лоткового типу.

виконуються з нержавіючої сталі та інших стійких до корозії матеріалів. Як правило, установки корпусного типу розташовується в закритому приміщенні. Вода, що знезаражується, по вхідному колектору поступає всередину камери знезаражування, де вона піддається опроміненню ультрафіолетовим променями в дозі, яка гарантує її повне знезараження. Знезаражена вода через вихідний колектор скидається до поверхневого водойму або у каналізацію. Очищення захисних кварцових колб від органічних та мінеральних відкладень проводиться за допомогою вбудованого очисного механізму з електричним приводом. Управління роботою механізмом очищення кварцових колб здійснюється в автоматичному режимі. Періодичність очищування кварцових колб встановлюється за допомогою спеціального мікропроцесорного реле або контролера через 12, 24, 36 або 48 годин. Така періодичність очищення кварцових колб забезпечує їх високу прозорість на протязі всього строку експлуатації установки, що надає постійно високу ефективність знезаражування води.

В деяких УФ установках, наприклад в установках серії УДВ, ОДВ, УОВ – УФТ (Росія) та деяких інших очищення кварцових здійснюється методом промивання всієї внутрішньої порожнини камери знезаражування спеціальними миючими засобами. Таке очищення кварцових колб має як свої переваги, так і недоліки. Безперечною перевагою такого метода очищення є те, що разом з зовнішньою поверхнею кварцових колб миється вся внутрішня поверхня камери знезаражування. Але для



проведення промивання необхідно зупинити процес знезаражування. Тривалість промивки камери знезаражування становить кілька десятків хвилин. Після чого необхідно зробити нейтралізацію миючого засобу і злити його в каналізацію. Головними недоліками цього методу є зупинка процесу знезаражування стоків і використання великої кількості хімічних реактивів. Враховуючи, що забруднення кварцових колб здійснюється постійно, їх очищення необхідно робити не рідше ніж один раз у декілька днів, а то і частіше. Це значно ускладнює експлуатацію УФ установок з таким методом очищення кварцових колб та приводить до завищення експлуатаційних витрат.

УФ установки лоткового типу складаються з знезаражуючих касет (які розміщуються в порожнині каналу), шаф з елементами живлення УФ ламп, блоків управління роботою механізмів очищення кварцових колб, системи регулювання постійного рівня води у каналі, шафи управління та іншого необхідного обладнання.

Однією з особливостей УФ установок лоткового типу є необхідність їх оснащення системою автоматичної підтримки рівня води у каналі. При недостатньому рівні води у каналі частина УФ ламп, які розташовані у верхній частині знезаражуючих касет (при горизонтальному розташуванні УФ ламп у знезаражуючій касеті), або верхня частина УФ ламп (при їх вертикальному розташуванні) не будуть знезаражувати воду. Це буде негативно впливати на ефективність знезаражування стоків і може привести до порушень у роботі механізмів очищення кварцових чохлаів. При високому рівні води у каналі може настати аварійна ситуація, яка приведе до затоплення касети. Для підтримки постійного рівня води у лотку (каналі) застосовують спеціальні автоматичні регулюючі засувки, які зменшують площину поперечного перерізу каналу при зменшенні протоки води і навпаки, збільшують її при зростанні протоки.

Головною особливістю застосування УФ установок лоткового типу є те, що їх можна розміщувати у лотку на відкритому просторі. Але при цьому необхідно передбачити систему стабілізації температури у шафах з електричним обладнанням.

Економічна доцільність застосування УФ технологій для знезараження стічної води

Перед прийняттям рішення щодо впровадження технологій ультрафіолетового знезараження стічних вод, безумовно, необхідно пояснити економічну доцільність застосування цього методу знезараження. Для цього необхідно оцінити питому вартість знезараження 1 м³ стічної води.

Для розрахунків виберемо типові очисні споруди, які забезпечують очищення стічних вод у кількості 50 000 м³/добу. Однією з особливостей вибору будь якого обладнання для знезараження стоків, у тому числі і обладнання для знезараження за допомогою хлору, є те, що продуктивність установки для знезараження води необхідно вибирати враховуючи миттєві витрати стоків. Для очисних споруд які забезпечують очищення стічних вод у кількості 50 000 м³/добу максимальне значення коефіцієнту нерівномірності витрат стічних вод складає 1,47, а його мінімальне значення - 0,69 [5]. Тобто, для забезпечення ефективного знезараження стічних вод УФ установка повинна мати максимальну продуктивність $Q_{\max} = 3062,5$ м³/годину і мінімальну $Q_{\min} = 1437,5$ м³/годину. Враховуючі рекомендації [1], щодо вибору знезаражуючої УФ дози, вибираємо її величину яка дорівнює 40 мДж/см² (400 Дж/м²). Далі проводимо вибір типу УФ установки, яка забезпечить знезараження стічних вод необхідною дозою ультрафіолетового опромінення. При цьому необхідно звернути увагу на те, що величина УФ дози повинна бути вказана для стоків, які мають певну прозорість¹ (або коефіцієнт поглинання α). Як правило, після біологічного очищення прозорість стічних вод (при довжині хвилі УФ променів, яка дорівнюється 253,7 нм) складає 40 ... 50%. Цій прозорості відповідає коефіцієнт поглинання УФ опромінювання $\alpha = 0,6 \dots 0,5 \text{ см}^{-1}$.

Використовуючи дані, які були наведені виробниками УФ обладнання, для знезараження стічних вод вибираємо установку лоткового типу ВОДОГРАЙ® 22В8КС. Ця установка складається з 22 знезаражуючих касет В8КС.01. В кожній касеті встановлено по 8 амальгамних

¹Прозорість води A зв'язана з коефіцієнтом поглинання (для заглиблених у стічну воду УФ випромінювачів) формулою $A = (1 - \alpha) \cdot 100\%$.



Рис. 6. УФ установка знезараження стоків лоткового типу ВОДОГРАЙ® 22В8КС.

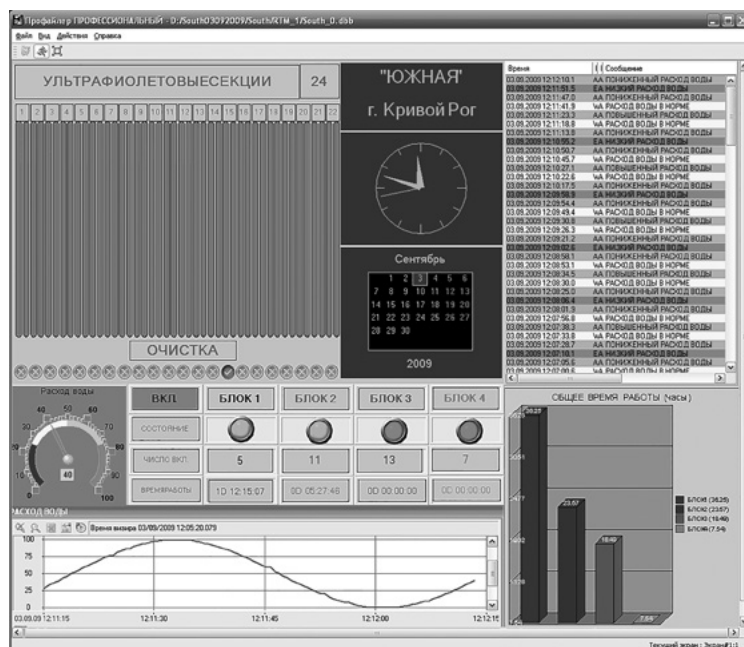


Рис. 7. Система автоматичного управління установкою ВОДОГРАЙ® 22В8КС.

УФ ламп потужністю 500 Вт кожна та автоматичний механізм очищення кварцових колб. Загальна кількість УФ ламп складає 176 штук. Основні технічні параметри УФ установки наведені у таблиці 2.

Як можна бачити, максимальна продуктивність цієї УФ установки складає 3150 м³/годину, що близько до необхідної. Середня потужність

установки становить 60 кВт. При цілодобовій роботі УФ установки на протязі всього року кількість затраченої електричної енергії складе 60 кВт x 24 години x 365 днів = 525 600 кВт·годин. Якщо вартість 1 кВт·години складає 1,725 грн., то витрати на електроенергію, яка необхідна для знезараження стічних вод складуть 900 тис. грн.

До експлуатаційних витрат, крім витрат за спожиту електричну енергію, входять витрати на купівлю УФ ламп, які необхідно замінити після закінчення терміну їх експлуатації, а також витрати на технічне обслуговування установки та на заробітну плату обслуговуючого персоналу. Враховуючи, що ресурс УФ ламп складає практично 2 роки безперервної експлуатації (16 000 годин), їх ціну, та те, що УФ установка експлуатується в автоматичному режимі без постійного обслуговування, орієнтовно ці витрати можна оцінити у 50% від вартості спожитої електричної енергії. Таким чином, загальні витрати на експлуатацію УФ установки складуть приблизно 1,35 млн. гривень. Враховуючи, що кількість знезаражених на протязі року стоків складають 0,67 x 50 000 м³/добу x 365 днів = 12 230 000 м³, питомі витрати для знезараження 1 м³ стоків складуть 1 350 000 гривень : 12 230 000 м³ = 0,11 грн. Тобто, собівартість УФ знезараження 1000 м³ стоків складає 110 гривень.

(Далі буде)

Таблиця 2. Основні технічні параметри УФ установки ВОДОГРАЙ® 22В8КС

Показник	Величина
Максимальна продуктивність, м ³ /годину	3 150
Середня продуктивність, м ³ /добу (м ³ /годину)	50 000 (2 080)
Доза УФ опромінення при прозорості води, яка дорівнюється 45% (коефіцієнт поглинання УФ опромінення – 0,55 см ⁻¹)	40 мДж/см ²
Тип УФ лампи	амальгамна
Ресурс УФ лампи	16 000 годин
Кількість УФ ламп	176 шт.
Напруга живлення	380/220 В, 3 ф.
Частота електричної мережі	50/60 Гц
Потужність у режимі максимальної продуктивності	90 кВт
Середня потужність	60 кВт
Коефіцієнт потужності (cos φ)	0,96