Проведений розрахунок показує, що кінетична модель може бути використана для опису утворення оксидів азоту в топках котлів при згоранні вугілля.

Література

1. *Котлер В. Р.* Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
2. *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. *Гусев, И. Н.* Моделирование образования оксидов азота в топочных камерах / И. Н. Гусев, Л. И. Зайчик, Н. Ю. Кудрявцев. Теплоэнергетика, 1993. – № 1. – С. 32-36.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Бондаренко С. Г., Вовненко К. В.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Бондаренко С. Г., Вовненко К. В.

WATER DISINFECTION FEATURES IN USE OF ELECTRIC DISCHARGE TECHNOLOGY

Bondarenko S., Vovnenko K.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
bako199511@gmail.com

У статті розглянуто можливості використання електророзрядної технології для знезараження води. Проаналізовано чинники цього впливу.

Ключові слова: *очищення води, знезараження, електророзрядні технології, плазмовий реактор, окиснення*

В статье рассмотрены возможности использования электроразрядной технологии для обеззараживания воды. Проанализированы факторы этого влияния.

Ключевые слова*: очистка воды, обеззараживание, электроразрядные технологии, плазменный реактор, окисление*

The article considers the possibilities of using electric discharge technology for water disinfection. The factors of this influence are analyzed.

Keywords: *water purification, disinfection, electric discharge technologies, plasma reactor, oxidation*

Вступ

Результати досліджень останніх десятиліть в області медицини вказують на те, що різке зростання онкологічних і серцево-судинних захворювань є наслідком знезараження води хлоруванням. Виявлено, що у воді, обеззараженій хлоруванням, присутні стійкі частинки (мікро-радикалів). Встановлено, що дані мікро-радикали є той патогенний початок, який провокує виникнення і розвиток цих та інших важких захворювань [1].

Забруднення водойм, за своїм складом, можна розділити на три основні групи: біологічні, мінеральні та органічні. Біологічними є всілякі різновиди мікробів - водорості, бактерії, віруси, грибки цвілеві і дріжджового походження та інші. Якщо розглядати ці мікроорганізми окремо, їх вага дуже маленька, проте якщо об'єднати всі бактерії разом, їх обсяг складе близько 1м^3 на 1000 кубометрів водного басейну. Ці мікроорганізми отримують поживні речовини з органіки, яка знаходиться у водоймищі. Надлишок цих бактерій та присутність патогенних є небезпечним для життя людини.

Наприклад, *Escherichia coli* (укр. кишкова паличка) – вид грамнегативних паличко-видних бактерій, яка може викликати важкі харчові отруєння у людей і тварин. *Aeromonas hydrophila* (укр. гідрофільна аеромонада) – паличкоподібна бактерія є причиною виразкових захворювань, а також «шишкоподібної» хвороби. Ці бактерії здатні знищити всю рибу в ставку, якщо не вживати заходів [5].

І це лише декілька видів патогенних бактерій, а насправді їх десятки, сотні, або навіть тисячі. Тому дуже важливо знезаражувати водойми, щоб запобігти летальних наслідків. Також слід вказати на важливість знезараження води у басейнах, частота використання населенням яких досить висока.

Найбільш поширені методики знезараження води – хімічні та фізичні методи.

Хімічні методи ґрунтуються на додаванні в воду певних речовин, які пригнічують життєдіяльність бактерій. До фізичних методів відноситься температурна обробка води (кип'ятіння), вплив ультрафіолетовим випромінюванням, ультразвуком.

Останнім часом публікується ряд досліджень по застосуванню електророзрядних технологій для очищення води від різноманітних органічних забруднень, в тому числі і від патогенних.

Постановка задачі

Тому головною метою роботи є аналіз можливостей застосування електророзрядних технологій для очищення води від патогенних бактерій, мікроорганізмів та ряду органічних сполук.

Аналіз досліджень

Ефективними методами очищення або знищення будь-яких відходів, в тому числі і тих що містять мікроорганізми, є плазмові методи. Температура плазми суттєво вище температури дисоціації і іонізації будь-яких молекул. Також в газовій плазмі утворюється велика кількість хімічно активних радикалів та іонів, а також коливально збудженні молекули, що сильно прискорюють перебіг хімічних реакцій.

Один з поширених методів безреагентної очистки води є використання фізичних полів. Принцип роботи такого апарату заснований на вихровому шарі, що

використовує енергодію обертових електромагнітних полів високої напруженості для очищення і знезараження забруднених вод.

Ще один поширений метод – використання ультрафіолетових (УФ) променів. Коли вода проходить через УФ освітлювач, вона опромінюється УФ світлом, який "обпікає" водорості і мікроби. Це призводить до злипання водоростей в грудки, потім вони осідають на дно ставка і піддаються обробці анаеробними бактеріями або фільтруються в камерах фільтрів механічного очищення [5].

Досить ефективним є метод ударної хвилі. У цьому методі використовуються електричні ударні хвилі, які здатні розділити забруднену воду на два окремих потоки, з природним бар'єром між кожним з них. В такому процесі вода, що підлягає очищенню, проходить через пористий матеріал або через мембрану та електроди, що встановлені на протилежних сторонах апарату. Збільшення струму генерує ударну хвилю між двома зонами, ефективно додаючи фізичний бар'єр, який створює потік прісної води на одній стороні і солоної або забрудненої води на інший.

Знезараження органічних домішок у воді відбувається по ланцюговому механізму, тому оцінка швидкості очищення і концентрації радикалів в воді виконується на основі схеми ланцюгового окислення [2]. Для випадку, коли окислення ініціюється гідроксильними радикалами, схема процесу виглядає наступним чином (тут $R^{\bullet}$ - органічний радикал).

Ініціювання

$OH^{\bullet} + RH \rightarrow R^{\bullet} + H_2O$ $\quad k_1 \sim 10^9 – 10^{10}$ л/(моль. с) (1)

Продовження ланцюга

$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$ $\quad k_2 \sim 10^7 – 10^8$ л/(моль с) (2)

$ROO^{\bullet} + RH \rightarrow ROOH + R^{\bullet}$ $\quad k_3 \sim 2{,}5\ 10^4 – 1{,}4\ 10^6$ л/(моль с) (3)

Розгалуження ланцюга

$ROOH \rightarrow RO^{\bullet} + OH^{\bullet}$ $\quad k_4 \sim (0{,}5 – 3{,}25)\ 10^{-6}$ (4)

Розрив ланцюга

$R^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow ....$ (5)

$R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ....$ (6)

$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ....$ (7)

Пригнічення процесу

$R^{\bullet} + XH \rightarrow X^{\bullet} + RH$ (8)

В реакціях 5-7 утворюються неактивні продукти, $k_5 – k_7 \sim 10^6$ л/(моль с).

Процес дуже сповільниться, якщо вторинний радикал $X^{\bullet}$, який утворюється в реакції (8), виявиться малоактивним. В невеликому об’ємі (~ 100 мл) і при постійному впливі радикалів ОН, які генеруються в електричному розряді при наявності парів води, вторинно утворені радикали будуть взаємодіяти між собою (реакції 5-7), або з радикалами-окиснювачами ($OH^{\bullet}$), і ланцюговий процес не спостерігається [2]. Однак зі збільшенням об’єму системи концентрація вторинноутворених радикалів стає малою і ймовірність загибелі радикалів сильно зменшується. Радикали гинуть в реакціях рекомбінації (5-7) і стають малоактивними, перестаючи давати помітний внесок, після реакції (8).

Крім того, плазмові методи можуть дозволити ефективно знищувати високостійкі мікроорганізми: віруси, спори мікроорганізмів також і в промислових масштабах.

Суть електророзрядної технології знезараження води полягає у впливі на оброблювану воду високовольтним електричним розрядом, що викликає руйнування клітин мікроорганізмів (бактерій, вірусів) в першу чергу за рахунок ударної хвилі, що генерується у воді. Це пов'язано з тим, що розряд в двофазному середовищі дозволяє генерувати крім озону і УФ випромінювання ряд активних частинок (радикал OH, атомарний кисень, активні молекули і порушені частинки). Реакційна здатність у атомів кисню у багато разів вище, ніж у озону, а радикал OH є одним з найактивніших проміжних частинок. Наявність великої кількості цих частинок, що утворилися в результаті подальших перетворень, здатні розкласти будь-яку органічну речовину аж до повної мінералізації (до CO_2 і H_2O) або, принаймні, до форм, що легко піддаються біодеградації [4].

Розглянемо схему електророзрядної установки, яка представлена на рисунку 1, для знезараження води, насиченої патогенними бактеріями та іншими органічними сполуками.

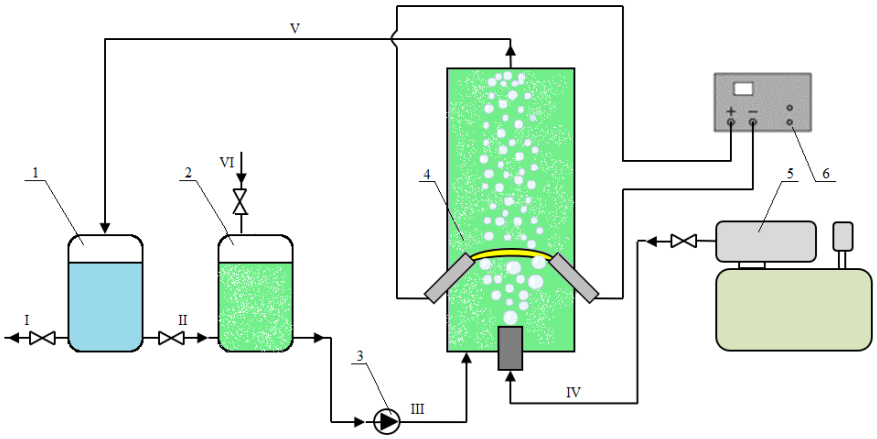

Рис. 1. Схема електророзрядної установки для знезараження води:
1 – ємність для обробленої води; 2 – ємність для забрудненої води; 3 – насос подачі води; 4 – електророзрядний модуль; 5 – компресор; 6 – високочастотне інверторне джерело високої напруги; I – очищена вода; II – подача води на доочищення; III, VI – забруднена вода; IV – повітря; V – оброблена вода

Установка складається з ємності 2, з якої подається забруднена вода, і яка прокачується через електророзрядний модуль 4. Вода прокачується через установку за допомогою насосу 3. Електроди, що знаходяться всередині електророзрядного модуля, занурені в забруднену воду, де між ними виникає дуговий заряд. Високочастотне інверторне джерело високої напруги 6, здійснює електроживлення дуги. Після електророзрядного модуля оброблена вода подається до ємності 1, де перевіряється її ступінь очистки. Якщо вода відповідає нормам то вона спрямовується потоком I до резервуару з очищеною водою, однак якщо концентрація шкідливих речовин перевищує норми, то її спрямовують на повторну очистку.

На межі розділу вода-повітря йде розряд, що дозволяє проводити глибоке очищення води з мінімальними енергетичними витратами навіть за наявності високостійких мікроорганізмів, дезактивація яких іншими методами проблематична. В результаті дії на забруднену воду всієї сукупності факторів плазми на виході з установки отримуємо знезаражену чисту воду.

Ефективність очистки води забрудненої бактеріальними мікроорганізмами, було експериментально встановлено на прикладі бактерії *Escherichia coli*. Залежність знезаражувальної здатності установки при знезараженні води в відношенні бактерій *Escherichia coli*, обробленої за допомогою електророзрядної технології, визначається як lgNk/N_0 (де N_0 – початкова концентрація бактерій у воді, *Nk* - кінцева концентрація життєздатних бактерій), від питомої енергії вкладеної в розряд, представлена на рис. 2. Ефективність знезараження пропорційна вкладеній електричній енергії. Характер представленої залежності зберігається також відносно бактерій *Klebsiella pneumonia, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella typhimurium, Serratia marsescens, Citrobacter freundii, Bacillus subtilis* і спорів мікроскопічних грибів *Candida albicans, Ulocladium chartarum, Phaeococcomyces chersonesos*.

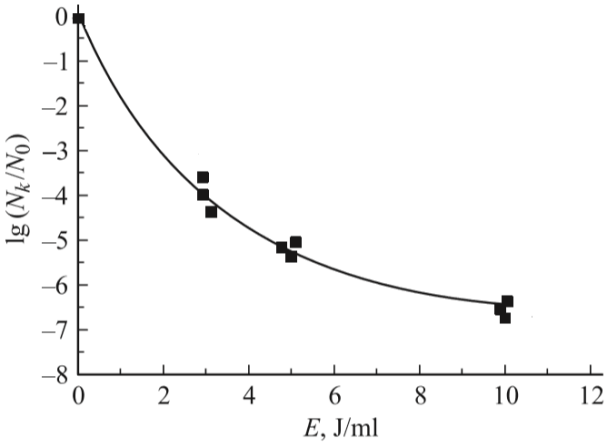

Рис. 2. Графік залежності знезаражувальною здатності води від питомої вкладеної в розряд енергії

Експеримент показав, що знезаражувальна здатність води пропорційна прикладеній електричній енергії, тому можна стверджувати, шо чим більша вкладена енергія, тим ефективніший процес знезараження води. Така залежність актуальна не лише для *Escherichia coli*, але й для інших патогенних бактерій.

Висновки

Таким чином, в результаті дослідження встановлено, що використання електророзрядних установок для знезараження води, не тільки можливе, але й досить ефективне. Їх використання забезпечує повне очищення води від патогенних бактерій та мікроорганізмів.

Література

1. *Апостолюк, С. О., Джигирей В. С.* Промислова екологія: навчальний посібник. Львів: БП «Знання», 2012. 430 с.
2. *Шиян Л. Н.* Химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 72 с.
3. *Проблематика медицинской микологии* / Е. В. Богомолова и др.; Под редакцией В. А. Коликов Санкт-Петербург, 2003. 75 с.

4. *Быков А. А.* Исследование газожидкостных течений и характеристик электрического разряда в процессах очистки промышленных и бытовых сточных вод: Автореф. канд. дис. Москва: МФТИ, 2011. 24 с.
5. *Foster, J., Sommers, B. S., Gucker, S. N., Blankson, I. M., Adamovsky, G*. Perspective on the interaction of plasmas with liquid water for water purification. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2012, Vol. 40, №. 2. P. 1311-1323.