

Експериментальні дослідження

УДК 57.042:537.5:579.695

¹Є.М.Бабич, ¹Т.В.Хірна, ¹Н.І.Скляр, ²В.С.Антіпов, ²В.А.Кисельов

СУМІСНА ДІЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ТА ОЗОНУ НА САНІТАРНО-ПОКАЗОВІ МІКРООРГАНІЗМИ В СТІЧНИХ ВОДАХ

¹Інститут мікробіології та імунології ім. І.І. Мечникова АМН України, м. Харків
²Національний Науковий Центр "Харківський фізико-технічний інститут", м. Харків

Резюме. В експериментальних дослідженнях вивчено сумісну дію високоенергетичного електронного пучка та озону на санітарно-показові мікроорганізми в стічних водах. Показано, що зниження концентрації санітарно-показової мікрофлори в стоках до нормативних показників господарчого водопостачання досягалося при сумісному опроміненні в режимах 4,8 кГр та озонуванні (20 мг/л озону в повітряно-

кисневій суміші) упродовж 6 хвилин. Встановлено, що найбільша бактерицидна дія фізико-хімічних чинників проявляється при низьких значеннях рН стоків (3,0-6,0) та температурі проб у межах 15-20 °С.

Ключові слова: знезараження води, озон, електронний пучок, стічні води, санітарно-показові мікроорганізми.

Вступ. Збільшення країн з розвинутою економікою створило передумови поширення промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. Вказані обставини зумовили необхідність посилення заходів охорони навколишнього середовища, у першу чергу водних ресурсів, куди після очищення й скидаються рідкі забруднювачі.

Останнім часом намітився новий перспективний підхід до вирішення задачі знезараження води. Він передбачає використання альтернативних фізико-хімічних методів (вплив ультрафіолету, електронних пучків, ультразвуку, озону та ін.) [2]. Особливо перспективним є використання електронних пучків для стерилізації та очищення стічних вод, що дозволяє не тільки звільнюватися від патогенних бактерій, але і очищати стоки від біологічних та синтетичних домішок. Привабливість такого методу очищення води полягає в тому, що він не чутливий до прозорості води і енергія пучка використовується на сто відсотків [3]. З хімічних методів очистки одним із найбільш реальних та високоефективних є озонування. Окиснення озonom не супроводжується вторинними екологічно несприятливими ефектами, що призводять до утворення високотоксичних сполук. Крім того, технологія озонування дозволяє досягти більш повної очистки і знезараження води [1]. Важливо відзначити, що обидва згадані методи (озонування і опромінення) за характером направленої дії на точки-мішені часто доповнюють один одного, що дозволило вченим прогнозувати при сумісному використанні їх взаємопосилюючий вплив на біооб'єкти та токсиканти [6]. За вказаною методикою спочатку у воду вводять невеликі дози окиснювача, а потім застосовують фізичний метод. Утворення активних чинників значною мірою залежить від інтенсивності опромінення та озонування, а також природи і концентрації органічних складових стічних скидів. Тому питання, за яких умов раціональніше використовувати озон та електронний пучок при знезараженні води, залишається відкритим.

Мета дослідження. Визначити оптимальні режими сумісного опромінення та озонування для знезараження стічних вод і доведення їх якості до нормативних показників господарчого водопостачання.

Матеріал і методи. Проби стічних вод відбирали на різних етапах очистки на Безлюдівських та Диканівських очисних спорудах м. Харкова згідно з діючими нормативними документами.

Мікробіологічні дослідження стічних вод до та після обробки фізико-хімічними чинниками включали визначення в 1 мл кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФAM), а в 1 л – санітарно-показових мікроорганізмів групи кишкової палички (коліформні бактерії) та ентерококів відповідно до діючих нормативних документів [4]. Коліформні бактерії та ентерококи виділяли з води за допомогою методу мембранних фільтрів. Воду пропускали через мембранні фільтри за допомогою вакуумного насоса, після чого фільтри перенесли на відповідні живильні середовища Ендо, ентерококагар та проводили бактеріологічні дослідження. Кількість бактерій визначали шляхом підрахунку колонієутворювальних одиниць на фільтрах з урахуванням об'єму профільтрованої води та виражали в десяткових логарифмах (lg КУО).

Характеристика проб стічної води за показниками електропровідності (рН) виконували згідно з уніфікованим методом [5]. Заміри виконували за допомогою портативного набору для встановлення електропровідності солеутримання FE 257 Kit (WPA, Англія).

Дослідження процесів знезараження води проводили на лабораторній установці, розробленій у ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут", яка складалася з потужного випромінювача, високоенергозберігаючого озонатора та проточної системи нового типу з іоноутворювальною камерою знезараження. Для опромінення зразків води різними дозами релятивістських електронів використовувався лінійний резонансний прискорювач.

рвач електронів на біжучій хвилі з частотою 2850 МГц, зібраний за традиційною схемою. Параметри формуючого ним пучка такі: енергія електронів - 3-4 МеВ; струм електронів - 0,5-0,8 А; тривалість струмового імпульса - 2 мкс. На базі озонатора "OZWW-4/2" створено експериментальний стенд, що складався з озонаторної установки на жевріючому розряді з продуктивністю 4 г озону на годину та масовою концентрацією озону більшою за 2%, диспергатора для абсорбції озону з газу в рідину та системи контролю концентрації озону. Вимірювання концентрації озону проводилось за зміною оптичного поглинання на довжині хвилі 254 нм за допомогою спектрографа СТЕ-1.

Досліди проводили в трьох та чотирьох повторюваннях. Результати аналізували статистично за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel 2000 та Biostat-4.

Результати дослідження та їх обговорення. Оцінку ефективності знезараження стічних вод проводили за показниками, які рекомендовані для природних вод (до lg 4,0 КУО/мл – для колиформних бактерій, до lg 3,0 КУО/мл – для ентерококів) [4].

Вплив фізико-хімічних факторів на життєдіяльність санітарно-показової мікрофлори в пробах стічних вод визначали в стаціонарних умовах та в умовах протоку (табл. 1).

Дані, наведені в таблиці 1, свідчать, що знезараження на протоці в умовах малих швидко-

стей (0,05-0,1 л/хв) проходження стічної води через камеру лабораторної установки при озонуванні впродовж 6 хвилин і опроміненні в дозі 4,8 кГр дозволяє знизити концентрацію життєздатних колиформних бактерій до нормативних показників. Такі ж режими визначені відносно обробки води в стаціонарних умовах.

При визначенні оптимальних режимів обробки стічної води слід врахувати, що зниження вмісту санітарно-показової мікрофлори не є єдиним у мікробіологічному відношенні критерієм екологічної ефективності технології знезараження. Для процесів самоочищення, що активно відбуваються в природних водоймах, важливо зберегти популяції постійних мешканців мікробного світу. Вказані сапрофіти входять у групу МАФAM. Зіставлення показників зниження санітарно-показової мікрофлори та збереження бактерій вказаної вище групи мікробів показало, що в 70,0% випадків найбільш сприятливим режимом обробки стічних вод з точки зору інтенсивності розвитку подальших процесів самоочищення є опромінення в поглинаючій дозі 4,8 кГр та озонування (20 мг/л озону в повітряно-кисневій суміші) упродовж 6 хвилин.

У визначеному за енерговитратами режимі знезараження проведена обробка проб стічної води, що відбиралася на різних етапах очистки (табл. 2).

Таблиця 1

Результати бактеріологічних досліджень проб стічної води після одночасного знезараження озоном та електронним пучком в умовах протоку (n=10) та в стаціонарних умовах (без протоку) (n=10)

Умови досліджу	Режими обробки		Середні показники росту бактерій		
	опромінення (кГр)	озонування (тривалість у хвилинах)	МАФAM (lg КУО/мл)	колиформні бактерії (lg КУО/л)	ентерококи (lg КУО/л)
на протоці	3,2	4	1,5±0,07	4,4±0,1	3,5±0,3
без протоку	3,2	4	1,3±0,06	4,1±0,2	3,2±0,4
на протоці	4,8	6	1,3±0,04	3,1±0,2	2,9±0,2
без протоку	4,8	6	0,9±0,03	3,0±0,3	2,8±0,2
на протоці	6,4	8	1,1±0,09	1,3±0,4	2,56±0,40
без протоку	6,4	8	0,88±0,04	2,1±0,8	2,9±0,70
Вихідна концентрація бактерій			7,54±0,6	8,67±0,52	7,67±0,80

Таблиця 2

Результати бактеріологічних досліджень проб стічної води, що відбиралася на різних етапах очистки, після одночасного знезараження озоном та електронним пучком (M±m)

Проби взяті	Режими обробки		Середні показники росту бактерій (МАФAM - lg КУО/мл, інші бактерії - lg КУО/л)					
	Опромінення (кГр)	Озонування (хв)	МАФAM		колиформні бактерії		Ентерококи	
			К	Д	К	Д	К	Д
До очистки (n=15)	4,8	6	6,03±0,69	0,48±0,06	8,12±0,79	2,81±0,33	6,27±0,88	1,90±0,41
Після механічної очистки (n=15)	4,8	6	4,47±0,36	0,3±0,04	7,32±0,58	1,7±0,25	4,6±0,35	0,7±0,1
Після біо-очистки (n=15)	4,8	6	3,4±0,25	0,2±0,11	4,42±0,42	0,7±0,11	3,62±0,33	0,4±0,1

Примітка. К – контрольні зразки; Д – дослідні зразки

Значне зниження (в 1,8 раза) концентрації санітарно-показової мікрофлори після проходження очисних споруд і висока ефективність знезараження стоків фізико-хімічними чинниками при невисоких енергетичних витратах дає підстави вважати, що технологія очистки таких скидів може бути близькою до обробки природної води.

Показана вище особливість знезараження стічних вод у вигляді різної ефективності обробки скидів фізико-хімічними чинниками при однакових режимах їх дії, пов'язана насамперед з тим, що склад їх може суттєво мінятися протягом навіть доби. А це може призводити, насамперед, до зміни рН середовища, яке, згідно з даними літератури, відіграє важливу роль при окисненні біоб'єктів.

У таблиці 3 представлені проби стічних вод, які згруповані за значеннями рН. У кожному зразку скидів кількість іонів водню доводили до трьох зазначених у таблиці концентрацій даного хімічного елемента. Після цього проби обробляли в однакових режимах фізико-хімічними чинниками.

Одержані результати свідчать, що найбільш ефективно знезараження спостерігалось при кислих (рН 3,0-6,0) значеннях середовища. Навіть застосування низьких енергетичних режимів (2,4 кГр при озонуванні 3 хвилини) призвело до

зниження в 9,1 раза концентрації життєздатних санітарно-показових бактерій. При нейтральних значеннях рН ефективність застосування режимів обробки в межах 4,8-6,4 кГр та озонування 6-8 хвилин була такою ж, як і в дослідях при значних концентраціях водню. Проте обробка таких проб скидів при поглинаючій дозі електронного пучка 2,4 кГр та короткочасному опроміненні (3 хв) виявилася менш ефективною: кінцева густина санітарно-показових бактерій майже в 2 рази вища порівняно з кінцевими результатами знезаражування зразків з рН 3,0-6,0 ($p < 0,05$).

У лужних зразках скидів лише обробка в режимі 6,4 кГр з одночасним озонуванням упродовж 8 хв дозволили знизити концентрацію санітарно-показових бактерій до нормативних показників господарчого водопостачання.

Така ж залежність ефективності знезараження від концентрації іонів водню спостерігалась і при дії фізико-хімічних чинників на іншу мікрофлору стічних вод (МАФам та ентерококи).

На процесі поглинання озону в стічних водах може впливати температура скидів. Для того, щоб визначити роль температурного чинника в технології знезараження скидів проби обробляли при різних значеннях температури субстрату (табл. 4).

Дослідження показали, що найбільш несприятливими умовами обробки стічних вод слід вва-

Таблиця 3
Результати бактеріологічних досліджень проб стічної води з різними показниками рН після одночасного знезараження озоном та електронним пучком

Значення рН проб стічної води	Режими обробки		Середні показники росту бактерій (МАФам - lg КУО/мл, інші бактерії - lg КУО/л)					
	Опромінення (кГр)	Озонування (хв)	МАФам		коліформні бактерії		Ентерококи	
			К	Д	К	Д	К	Д
3,0-6,0 (n=10)	6,4	8	4,23±0,21	0	6,99±0,58	0,5±0,05	5,96±0,77	0,5±0,1
	4,8	6		0,5±0,09		0,5±0,1		0,6±0,09
	2,4	3		0		0,7±0,1		1,3±0,2
7,0-7,5 (n=10)	6,4	8	4,87±0,35	0	5,9±0,74	0,5±0,04	5,72±0,51	0,5±0,07
	4,8	6		0,8±0,1		0,75±0,20		0,8±0,1
	2,4	3		1,37±0,11		1,38±0,30		2,5±0,3
8,0-8,5 (n=10)	6,4	8	5,1±0,66	0	7,2±0,39	2,6±0,15	5,6±0,3	1,94±0,20
	4,8	6		0,5±0,06		4,45±0,26		2,34±0,10
	2,4	3		1,85±0,08		4,5±0,11		2,7±0,1

Примітка. К – контрольні зразки; Д – дослідні зразки

Таблиця 4
Результати бактеріологічного дослідження проб стічних вод при різних значеннях температури після сумісної обробки їх електронним пучком та озоном

Температура води	Режим обробки		Середні показники росту бактерій (МАФам - lg КУО/мл, інші бактерії - lg КУО/л)					
	Опромінення (кГр)	Озонування (хв)	МАФам		коліформні бактерії		ентерококи	
			К	Д	К	Д	К	Д
10 °С	4,8	6	6,93±0,50	1,0±0,1	9,12±0,60	2,89±0,30	8,5±0,7	3,2±0,15
15 °С				0,75±0,15		1,89±0,22		2,64±0,18
20 °С				1,15±0,20		3,21±0,24		2,72±0,24
25 °С				1,23±0,10		2,72±0,30		2,66±0,11
30 °С				1,34±0,20		3,3±0,23		3,43±0,47

Примітка. К – контрольні зразки; Д – дослідні зразки

жати як низькі (10 °С), так і показники температури в межах 30 °С. Так, якщо зниження кількості життєздатних бактерій після знезараження при вказаних значеннях температури стічних вод досягало відносно МАФам у 5,1-6,9 раза, колиформних бактерій – у 2,8-3,2 раза, ентерококів – у 2,5-2,7 раза, то при нагріванні проб до 15 °С концентрація вказаних бактерій знижувалася відповідно в 9,2-4,8-3,2 раза ($p < 0,05$).

Таким чином, зниження концентрації санітарно-показової мікрофлори в стоках до нормативних показників господарчопитного водопостачання досягалося при сумісному опроміненні в режимах 4,8 кГр та озонуванні (20 мг/л озону в повітряно-кисневій суміші) упродовж 6 хвилин.

Висновки

1. Ефективність обробки зразків залежить від низки чинників, до яких слід віднести в першу чергу ступінь бактеріального забруднення, рН та температуру води.

2. Найбільш виражена бактерицидна дія фізико-хімічних чинників проявляється при низьких значеннях рН стоків (3,0-6,0) та температурі проб у межах 15-20 °С. Енерговитрати у зазначених умовах обробки водного об'єкта зменшувались у 2-2,7 раза.

Перспективи подальших досліджень. Технологія, що розробляється, перспективна для впровадження на локальних очисних спорудах для очистки стічних вод у стаціонарних умовах. Проведення знезараження великих об'ємів стічної води в проточному режимі перспективно тільки в разі низьких швидкостей потоку або при застосуванні режимів з багаторазовим збільшенням протягом секундних інтервалів енергоза-

трат, що значно звужує сферу можливого використання даної технології очистки через високу дорожнечу. Тому для підвищення ефективності протимікробної дії фізико-хімічних чинників у таких випадках необхідно підібрати додаткові чинники, які могли б посилювати процеси озонування та опромінення.

Література

1. Жуков Н.Н., Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Озонирование воды в технологии водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – №1. – С.2-4.
2. Зайцева О.В., Резуненко Ю.К. Проблемы совершенствования очистки промышленных сточных вод // Мед. сегодня и завтра. – 2000. – №4. – С.147-150.
3. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю. Использование частотных сильнотоочных электронных пучков (СЭП) для водоподготовки и очистки сточных вод // Тезисы докладов международной выставки «Чистая вода Урала-95», Екатеринбург, 1995. – С.55.
4. Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов, МЗ СССР № 2285 – 81 от 19.01.81 г. - Москва, 1981. – С.3-35.
5. Определение электропроводности. СЭВ // Унифицированные методы исследования качества вод. - 1983. - Ч. 1, Т. 2. - С.251-255.
6. Gehringer P. Groundwater Remediation by Ozone/ Electron Beam Irradiation Treatment. Paper presented at AOTs-1 First Intl. // Conf. on Advanced Oxidation Technologies for Water and Air Remediation. - London, Ontario, Canada, June 25-30, 1994. – P. 130.

СОЧЕТАНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА И ОЗОНА НА САНИТАРНО-ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Е.М.Бабич, Т.В.Хирна, Н.И.Скляр, В.С.Антипов, В.А.Киселев

Резюме. В экспериментальных исследованиях изучено сочетанное действие высокоэнергетического электронного пучка и озона на санитарно-показательные микроорганизмы в сточных водах. Показано, что снижение концентрации санитарно-показательной микрофлоры в стоках к нормативным показателям хозяйственно-питьевого водоснабжения достигалось при совместном облучении в режимах 4,8 кГр и озонировании (20 мг/л озона в воздушно-кислородной смеси) на протяжении 6 минут. Установлено, что наиболее выраженное бактерицидное действие физико-химических факторов проявляется при низких значениях рН стоков (3,0-6,0) и температуре проб в пределах 15- 20 °С.

Ключевые слова: обеззараживание воды, озон, электронный пучок, сточные воды, санитарно-показательные микроорганизмы.

SYNERGISM OF A HIGH-ENERGY ELECTRON BEAM AND OZONE ON SANITARY-INDICATIVE MICROORGANISMS IN SEWAGE

Ye.M.Babych, T.V.Khirna, N.I.Sklyar, V.S.Antipov, V.A.Kiseliov

Abstract. Synergism of a high-energy electron beam and ozone on sanitary-indicative microorganisms in sewage was studied experimentally. It was shown that a decrease of the concentration of sanitary-indicative microflora in sewage to normative characteristics was achieved by combined irradiation at 4,8 kGj and ozonizing (20 mg/l of ozone in an air-oxygen mixture) during 6 minutes. It has been ascertained that the most pronounced bactericidal effect of physico-chemical factors appears at low pH in sewage (3,0-6,0) and at sample temperature being within the limits of 15-20 °C.

Key words: disinfection of water, ozone, electron beam, sewage, sanitary- indicative microorganisms.

I.I.Mechnykov Institute of Microbiology and Immunology of Ukraine's AMS (Kharkiv)
National Scientific Center "Kharkiv Physico-Technical Institute" (Kharkov)

Рецензент – проф. С.С.Дейнека

Buk. Med. Herald. – 2007. – Vol.11, №3. - P.111-114

Надійшла до редакції 8.06.2007 року