

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ТЕХНІЧНОГО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ГІДРОЕКОСИСТЕМ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ

Магась Н. І., Трохименко Г. Г., Гомеля М. Д.

ВСТУП

Результатом інтенсифікації діяльності промислових, комунальних та сільськогосподарських підприємств, розташованих поблизу водних об'єктів, є суттєве погіршення кількісних та якісних показників стану водного середовища та зростання рівня антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Основними причинами є неупорядковане відведення стоків від населених пунктів, господарських об'єктів і сільськогосподарських угідь, а також постійне скидання недостатньо очищених вод з очисних споруд¹.

Особливо актуальним є вирішення цих проблем для півдня України – специфічної території з переважанням степового ландшафту, що знаходиться на межі міжрегіональних кліматичних та природно-кліматичних зон, яку можна охарактеризувати як вододефіцитну. Згідно міжнародної класифікації цей регіон відноситься до території критичного водозабезпечення, де місцевий стік становить 23,2 тис. м³/рік на 1 км² території, що в перерахунку на одного мешканця становить 0,45 тис. м³/рік².

Сучасні обсяги водовідведення зросли до 72,25 м³/рік. Це у декілька разів більше аналогічних показників за останні 20 років. Особливо катастрофічна ситуація склалась у нижньому Побужжі, головним джерелом водопостачання якого є річка Південний Буг та її притоки.

Гідроекологічний стан водойми значно потерпає від забруднень, які надходять з верхніх ділянок басейну та неочищених скидів населених пунктів на берегах Південного Бугу. Оцінкові рівні скиду сягають 51,2 млн.м³/рік, що співвідноситься з обсягами природного водостоку. Найбільш небезпечними є скиди техногенного виробництва, з якими у водойми потрапляє велика кількість органічних речовин, важких

¹ Магась Н. І. Вплив природних та антропогенних чинників на формування якості поверхневих вод Південного Побужжя. Чиста вода. *Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти* : матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Київ : КПІ ім. Сікорського. 2019. С. 136–137. URL: <http://wtwst.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Pure-water-2019.pdf>

² Магась Н. І., Трохименко Г. Г. Оцінка впливу берегових джерел скиду стічних вод на стан водного середовища. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. 2017. № 2 (469). С. 98–106.

металів, нафтопродуктів. Відповідно, розробка заходів, спрямованих на обмеження і нейтралізацію негативного впливу на водні об'єкти в наявних умовах природно-кліматичної та соціально-економічної ситуації, є актуальною.

При визначенні екологічно небезпечних джерел забруднення водних об'єктів на території Миколаївської області та оцінці рівня їхнього впливу і навантаження на басейн річки, було встановлено, що найбільшу екологічну небезпеку становлять очисні споруди каналізації і водопроводу, машинобудівні підприємства та всі підприємства енергетики. Скиди стічних вод цих підприємств призводять до зниження якості поверхневих вод у місцях скиду до рівня «поганих» і характеризуються як «небезпечні». Відповідно, потребують розробки та впровадження заходів щодо зниження їхнього рівня впливу на водні об'єкти³.

Метою даної роботи є розробка основних напрямків технічного вирішення проблеми захисту гідроекосистем Миколаївської області від антропогенних впливів.

1. Реконструкція станцій водопідготовки

Значною мірою суттєве погіршення якості води у водоймах Миколаївської області відбувається через техногенні впливи, більшу частину яких можна відвернути шляхом реконструкції існуючих систем водопідготовки. Дані системи у більшості випадків застарілі і не відповідають сучасним вимогам щодо охорони природних водних об'єктів.

Найпростіший приклад стосується станції водопідготовки для міста Миколаєва, яка щодоби забирає з Дніпра 200 тис. м³ води. Розміщена станція у місті, а за існуючою технологією передбачено скид промивних вод станції у р. Вітовку, яка є струмком у межах м. Миколаєва. Це є грубим порушенням, яке призводить до деградації річки та забруднення Бузького лиману у межах міста⁴.

Об'єм промивних вод на таких станціях сягає приблизно 10–15 % від забору води. Тобто у р. Вітовка щодоби надходить не менше 20 000 м³ промивних вод. Вважається, що такі води нетоксичні і мало шкідливі. Але це не так. Для промивки фільтрів використовують чисту знезаражену воду, яка містить до 0,3–0,5 мг/дм³ активного хлору. Даний

³ Magas N., Trokhymenko G., Blahodatnyi V. Development of procedure for assessing the degree of environmental hazard from the sources of aquatic environment pollution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5, № 10 (95). P. 56–65.

⁴ Магась Н. І., Трохименко Г. Г., Гомеля М. Д. Реконструкція станцій водопідготовки як один із заходів захисту гідроекосистем від антропогенних впливів. *Пріоритети сучасної науки (частина I)*: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: МЦНД, 2018. С. 58–59.

реагент є токсичним для гідробіонтів і при попаданні у природні води спричиняє утворення хлорорганічних сполук, у тому числі й надзвичайних токсичних діоксинів. Враховуючи маловодність р. Вітовка, скид промивних вод практично повністю знищує існуючі в ній природні екосистеми. Наслідки даного способу водоспоживання вкрай негативні. Хоча є простий і ефективний спосіб запобігти цьому шляхом переходу до безстічної технології водопідготовки. Такі технології відомі давно, і описані такими вченими, як Абрамов Н. Н.⁵, Кульський Л. А.⁶, Когановський А. М.⁷, Клименко Н. А. та іншими, багато розробок виконано в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А. К. Думанського НАН України під керівництвом академіка Гончарука В. В.⁸.

Схему реконструкції згаданої схеми водопідготовки приведено на рис. 1.

На даній станції використовують класичну схему підготовки води господарсько-питного призначення. Воду, яка подається з р. Дніпро обробляють коагулянтном та активним хлором, коагулюють у камері (4), відстоюють у відстійниках (5) та фільтрують на механічних фільтрах (6). Очищену воду додатково хлорують, для запобігання вторинного зараження у камері (7) і подають у резервуар чистої води (8), а далі – до споживачів. Чисту воду використовують і для промивки фільтрів (6), почергово 1–2 рази на добу. При цьому для промивки використовують не менше 20 тис. м³/добу чистої води. Як уже було сказано, використані промивні води скидаються у р. Вітовка. Згідно запропонованого варіанту реконструкції станції, промивні води слід направляти у відстійники-усереднювачі промивних вод (22). Після відстоювання даних вод їх необхідно подавати у голову технологічної схеми – у змішувач (3). При цьому на 20 тис. м³ можна скоротити забір природної води. Слід відмітити, що використані промивні води досить ефективно освітлюються, так як завислі речовини в даному випадку скоагульовані і мають значення електрокінетичного потенціалу близько нуля. Осади з відстійників 5 та 22 збирають в шламонакопичувачі 19 та після зневоднення на фільтр-пресі 20 направляються на захоронення. Вони не токсичні і можуть бути розміщені на звалищах побутових відходів.

⁵ Абрамов Н. Н. Водоснабжение: учебник для вузов 3-е изд. Москва : Стройиздат, 1982. 440 с.

⁶ Кульский Л. А. Теоретические основы и технологии кондиционирования воды. Киев : Наук. думка, 1983. 560 с.

⁷ Когановский А. М. Клименко Н. А., Леванко Т. М. Очистка и повторное использование промышленных сточных вод в промышленном водоснабжении. Москва : Химия, 1983. 288 с.

⁸ Гончарук В. В. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды. Киев : Наук. думка, 2005. 400 с.

Фільтрати з фільтр-пресу повертаються у відстійники (22). Застосування такої схеми водопідготовки забезпечить безстічний режим роботи станції підготовки води у Миколаєві та інших містах області.

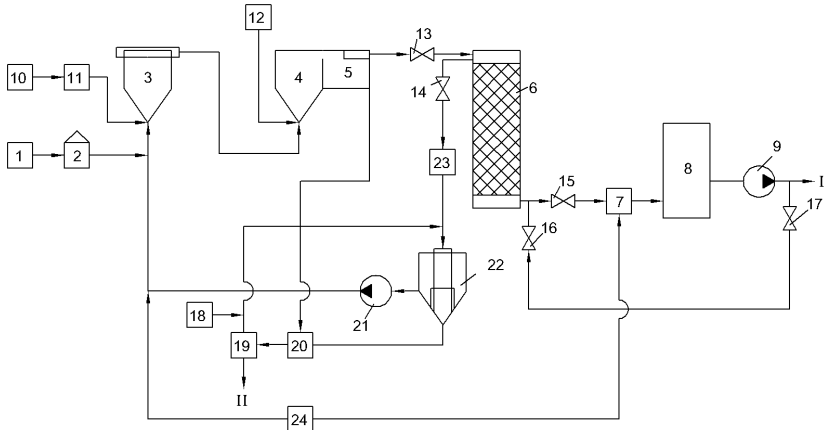


Рис. 1. Принципова технологічна схема підготовки питної води на МКП «Миколаївводоканал» з урахуванням реконструкції станції водопідготовки:

1 – водозабірні споруди; 2 – насосна станція 1-го підйому; 3 – змішувачі; 4 – камери пластівцеутворення; 5 – горизонтальні відстійники; 6 – блок механічних фільтрів; 7 – камера знезараження води; 8 – резервуари чистої води; 9 – насоси насосної станції 2-го підйому; 10 – розчинні баки коагулянту; 11 – витратні баки розчину коагулянту; 12, 18 – витратні баки розчину флокулянту; 13, 14, 15, 16, 17 – вентиля; 19 – фільтр-прес; 20 – шламосховище; 21 – насоси; 22 – відстійники усереднювачі промивних вод; 23 – піскоуловлювач; 24 – хлораторна; I – подача води до споживача; II – зневоднений шлам на захоронення

2. Заходи щодо зниження антропогенного тиску на гідроекосистеми області підприємств енергетики та комунальних господарств

Згідно даних оцінки ступеня екологічної небезпеки джерел скиду стічних вод на території області, найбільший техногенний вплив на водні об'єкти здійснюють підприємства енергетичного комплексу, серед яких безумовним лідером є ВП «Южноукраїнська АЕС»⁹. Крім великих обсягів скиду слабозабруднених вод, головною загрозою є теплове забруднення р. Південний Буг та значне її забруднення іонами міді. Так,

⁹ Магась Н. І., Облочинський Р. І. Аналіз існуючих підходів до водоспоживання та водовідведення атомного енергокомплексу ВП «Южно-Українська АЕС» ДП«НАЕК «Енергоатом». *Проблеми екології та енергозбереження*: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: Видавець Торубара В. В., 2021. С. 67–70.

частка в скиді іонів міді до р. Південний Буг ВП «Южноукраїнська АЕС» складає 47 %, а рівень перевищення концентрації міді у скиді даної АЕС сягає 38 разів. Крім того, на долю даного підприємства приходиться 59 % сульфатів, 32 % хлоридів, 68 % мінеральних домішок, 47 % нафтопродуктів, 96 % фосфатів, 84 % нітратів, 69 % нітритів, 68 % амонійного азоту, ХСК – 62 %, БСК – 58 %.

Із приведених даних видно, що навіть при використанні на підприємствах енергетики водооборотних систем, рівень їх впливу на довкілля колосальний. Тому подальше вдосконалення систем водоспоживання в енергетичному комплексі матиме велике значення.

Головним чином на підприємствах в енергетичному комплексі, в тому числі в комунальних господарствах, близько 80 % води використовується у водоциркуляційних системах охолодження. Перевагою такої системи є застосування основного об'єму води в оборотному циклі. Але при використанні відкритих градирень або бризкальних басейнів в системі протягом доби 2,5 % води втрачається на випаровування, 0,3–0,5 % – на винесення у вигляді крапель. Крім того, при випаровуванні води зростає солеміст у воді, тому для запобігання осадковідкладенням на теплообмінному обладнанні передбачено скид 8 % об'єму системи на продувку. Часто ця цифра сягає 20 і 30 %. Тому, для компенсації втрат води у системі, передбачено подачу води на підживлення. Об'єм цієї води компенсує втрати води у системі.

Відомо¹⁰, що фосфонові кислоти оксетилідендіфосфONOва кислота та поліфосфати є ефективними інгібіторами осадковідкладень у системах охолодження. Нами було перевірено ефективність даних реагентів при стабілізаційній обробці води із р. Південний Буг. Як видно з рис. 2, згадані реагенти забезпечували високу стабільність води до осадковідкладень уже при дозах 0,5–2,0 мг/дм³. Вони також є ефективними інгібіторами корозії металів (рис. 3). Тому їх доцільно застосовувати на підприємствах енергетики. Це надасть можливість у 4 рази зменшити об'єми скиду води на продувку систем.

При організації безстічних систем охолодження доцільно використовувати пом'якшену воду. А при використанні вентиляторних градирень – глибоко пом'якшену або знесолону воду.

Як показано в таблиці 1, при пом'якшенні води з р. Південний Буг за методикою, описаною в роботі¹¹, відбувалося зниження жорсткості до

¹⁰ Гомеля М. Д., Косачова Ю. В. Створення добавок для забезпечення ресурсозбереження в системах охолодження. *Наукові вісті НТУУ «КПУ»*. 2004. № 5. С. 101–105.

¹¹ Макаренко И. М., Шаблій Т. А., Крысенко Т. В. Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике. *Химия и технология воды*. 2009. № 31, № 5. С. 542–551.

0,3–0,5 мг-екв/дм³. У разі використання такої води для підживлення систем охолодження їх можна застосовувати у безстічному режимі.

При доочищенні такої пом'якшеної води методами ультрафільтрації та зворотнього осмосу можливо отримувати енергетичну воду (рис. 4).

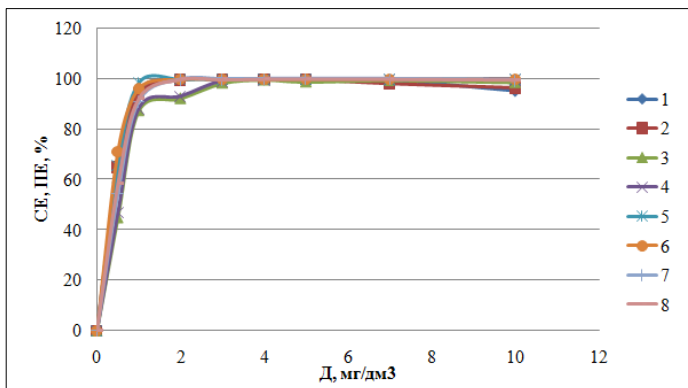


Рис. 2. Залежність стабілізаційного (1; 2; 3; 4) та проти накипного (5; 6; 7; 8) ефектів у воді з р. Південний Буг
($\gamma\text{Ж} = 4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$; $\text{Л} = 4,1 \text{ мг-екв/дм}^3$; $\text{C}_{\text{Cl}^-} = 70 \text{ мг/дм}^3$; $\text{C}_{\text{SO}_4^{2-}} = 410 \text{ мг/дм}^3$; $\text{pH} = 7,85$) оксіетилидендифосфонової кислоти (ОЕДФК) (1; 5), нітрилотриметилен-фосфонової кислоти (НТМФК) (2; 6), триполіфосфату натрію (ТПФН) (3; 7) та гексаметафосфату натрію (ГМФН) (4; 8) при температурі 95–100 °С

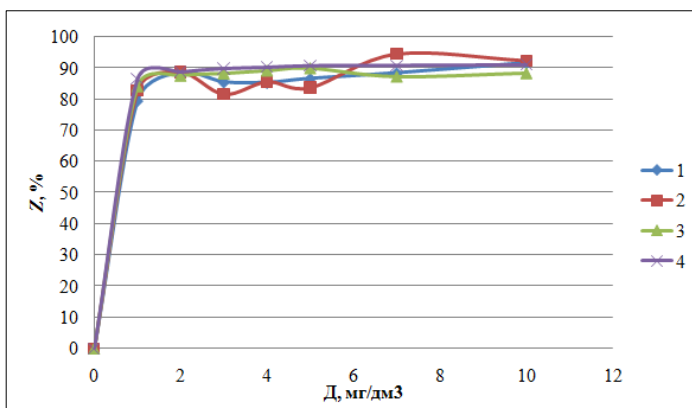


Рис. 3. Залежність ступеня захисту сталі ст.20 від корозії у воді з р. Південний Буг від дози інгібіторів: ОЕДФК (1), НТМФК (2), ТПФН (3) та ГМФН (4)

Таблиця 1

Вплив витрат вапна та алюмінієвих коагулянтів на ефективність пом'якшення води з р. Південний Буг (м. Южноукраїнськ)
 ($J = 4,2$ мг-екв/дм³; $L = 4,1$ мг-екв/дм³; $CSl = 70$ мг/дм³;
 $CSO_3^- = 410$ мг/дм³; $CSO_4^{2-} = 410$ мг/дм³; $pH = 7,85$)

№ з/п	Доза CaO, мг/дм ³	Доза коагулянтів (за Al ₂ O ₃) ммоль/дм ³		[SO ₄ ²⁻], мг/дм ³	НС, мг-екв/дм ³	[Cl ⁻], мг/дм ³	Ступінь пом'якшення Z, %	Ступінь вилучення сульфатів А, %
		NaAl(OH) ₄	2/3 ГОХА					
–	–	–	–	410	4,2	70	–	–
1	15,0	1,12	1,70	390	1,69	120,5	59,7	4,8
2	18,0	1,12	1,70	360	2,22	119,7	44,5	12,2
3	21,0	1,12	1,70	340	2,36	122,8	41,0	17,0
4	24,0	1,12	1,70	290	2,25	123,0	46,4	29,3
5	15,0	1,12	2,30	270	0,46	141,0	89,0	34,1
6	18,0	1,12	2,30	240	0,37	145,3	91,2	41,5
7	21,0	1,12	2,30	195	0,34	144,2	91,9	52,4
8	24,0	1,12	2,30	148	0,43	147,0	89,8	63,9

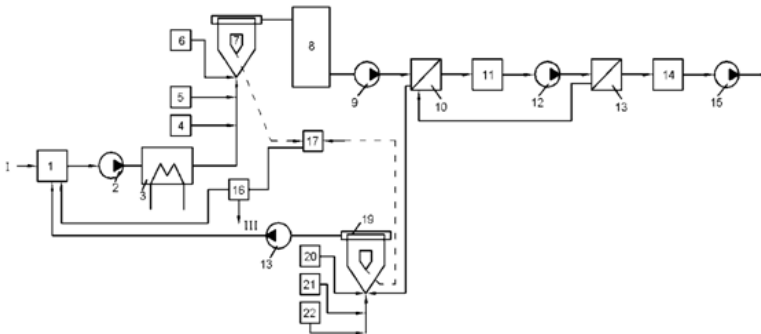


Рис. 4. Принципова технологічна схема знесолення води для підживлення водоциркуляційних систем електростанцій та комунальних, енергетичних підприємств:

1 – приймальна камера; 2, 9, 12, 15, 18 – насоси; 3 – теплообмінник; 4, 20 – витратні баки вапна; 5 – витратний бак соди; 6 – витратний бак гідроксиалюмінату натрію;
 7, 19 – просвітлювачі із завислим шаром осаду; 8, 11, 14 – резервуари вапнованої (освітленої, знесоленої) води; 10 – ультрафільтраційна установка; 13 – зворотньо-осмотична установка; 16 – фільтр-прес; 17 – шламосховище; 22 – витратний бак магнезиту; I – подача природної води; II – подача води на підживлення систем;
 III – шлам на виробництво будівельних матеріалів

У даному випадку, концентрат зворотньоосмотичного знесолення води використовується для промивки ультрафільтраційних мембран, а потім частково знесолюється та освітлюється у просвітлювачі із завислим осадом. У цьому випадку, з води вилучаються іони жорсткості та сульфати. Результати реагентної переробки концентратів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Залежність ефективності вилучення сульфатів із концентрату нанофільтраційного опріснення води з р. Південний Буг від витрат вапна, алюмінату кальцію і магнетиту

№ з/п	Доза реагенту, мг-екв/дм ³			[SO ₄ ²⁻], мг/дм ³	Ж, мг-екв/дм ³	Л _{гір.} , мг-екв/дм ³	Z, %	A, %
	CaO	NaAl(OH) ₄	MgCO ₃					
	–	–	–					
				1350	14,0	–	–	–
1	116	4,5	9,7	550,0	4,5	0,00	67,9	59,2
2	116	5,0	9,7	400,3	1,6	0,00	88,5	70,4
3	116	5,5	9,7	198,7	0,8	0,00	94,2	85,3
4	116	4,5	15,0	302,1	2,6	0,00	81,4	77,6
5	116	5,0	15,0	182,5	2,5	0,00	82,1	86,4
6	116	5,5	15,0	98,7	1,3	0,00	90,7	92,7
7	127	4,5	9,7	210,2	2,3	0,08	83,5	84,4
8	127	5,0	9,7	156,2	5,3	0,12	62,1	88,4
9	127	5,5	9,7	91,0	2,6	0,02	81,4	93,3
10	127	4,5	15,0	171,4	1,4	0,00	90,0	87,3
11	127	5,0	15,0	87,6	1,3	0,01	90,7	93,5
12	127	5,5	15,0	64,7	0,9	0,00	93,6	95,2

Згідно результатів дослідження, ступінь пом'якшення води досягає 90–99 %, ступінь вилучення сульфатів 85–95 %.

3. Інтенсифікація процесів доочищення комунально-побутових стічних вод

При проведенні оцінки рівня навантаження на води Бузького лиману на території Миколаївської області було встановлено, що на якість води найбільше впливають підприємства житлово-комунальних господарств. Вони забезпечують найбільшу частку забруднення амонійним азотом, нітритами, нітратами, фосфатами, БСК₅, ХСК, нафтопродуктами, а також важкими металами: залізом, міддю, цинком та сполуками хрому. Тому, для підвищення ефективності їх роботи потрібно вирішити 2 науково-технічні задачі:

1. Підвищити ефективність очищення води від біогенних елементів та нерозчинних речовин за рахунок інтенсифікації процесів біологічного очищення води, їх механічного доочищення.

2. Організувати локальні безвідходні очисні споруди для очищення води від іонів важких металів та забезпечити перехід до замкнених безстічних систем водокористування у гальванічних процесах.

3.1. Інтенсифікація процесів біологічного доочищення комунально-побутових стоків за допомогою ЕМ-технологій

За даними попередніх досліджень одним з основних джерел техногенного впливу на гідроекосистеми Миколаєва та області є комунальні підприємства, зокрема, недостатньо очищені стічні води комунального підприємства МВК «Миколаївводоканал» с. Галицинове. Не дивлячись на модернізацію очисних споруд, яка розпочалася з 2017 року, навантаження на них перевищує їхню потужність. Існуючі методи біологічного очищення у більшості випадків не відповідають зростаючому навантаженню, потребують великих затрат, удосконалення та модернізації. Вимоги до складу стоків, що скидаються в каналізацію, обґрунтовують необхідність розробки нових схем очищення, інтенсифікації роботи існуючих очисних споруд. Останнє може бути забезпечено як шляхом вдосконалення конструкцій, так і додатковим включенням нових ефективних технологій, які забезпечують необхідний ступінь очищення. Так, наприклад, як було показано у роботі¹², економічно доцільним у періоди найвищого навантаження є доочищення води на визначених етапах очищення, наприклад, у первинних відстійниках або в аеротенках різного типу.

Одним із методів мікробіологічного доочищення стічних вод можуть бути біологічно активні препарати «Тамір» (серії ефективних мікроорганізмів), призначені для утилізації органічних відходів, очищення каналізаційних систем і стоків від жирових відкладень, засорів, відновлення дренажу, усунення неприємних запахів, а також для прискореної переробки у високоякісний компост побутових та сільськогосподарських відходів. До їх складу входять молочнокислі, азотфіксуючі та фотосинтезуючі бактерії, а також дріжджі, продукти життєдіяльності

¹² Магась Н. І., Трохименко Г. Г. Розробка методів інтенсифікації процесів біологічного доочищення комунально-побутових стоків за допомогою ЕМ-технологій. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг*: матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. С. 204–205. URL:<http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/16024/importantdoc/proceedingswswr2019.pdf>

мікроорганізмів¹³. Ці препарати як високоефективні зарекомендували себе при застосуванні на комунальних підприємствах м. Нова Одеса, м. Южноукраїнськ, м. Скадовськ¹⁴.

Про ефективність очищення стічних вод на Галицинівських очисних спорудах можна судити за даними, наведеними у таблиці 3 та таблиці 4.

Таблиця 3

**Результати застосування препарату «Тамір»
у розведенні 1 : 1500 в умовах аерації**

Назва	Результат вимірювання					
	До очищення	4 години	12 години	24 години	48 годин	72 години
1	2	3	4	5	6	7
рН	8,1	8,2	7,8	7,5	7,5	7,5
Завислі речовини, мг/дм ³	300,1	230,3	56,0	20,0	24,0	20,0
Сухий залишок, мг/дм ³	1500,7	2745,0	2515,0	2157,0	2245,0	1300,7
Розчинений кисень, мг/дм ³	5,9	4,8	6,9	9,0	9,5	10,4
БСК, мг О ₂ /дм ³	300,2	301,8	130,1	105,0	55,0	37,0
ХСК, мг О ₂ /дм ³	650,0	490,0	280,0	120,0	87,0	80,0
Нітриг-іон, мг/дм ³	1,0	0,6	0,4	0,4	0,2	0,2
Нітрат-іон, мг/дм ³	1,5	1,3	0,6	0,3	0,4	0,2
Сульфати, мг/дм ³	187,0	98,5	58,1	34,0	23,3	16,6
Фосфати, мг/дм ³	10,8	10,9	9,87	7,00	7,50	6,3
Залізо, мг/дм ³	0,86	0,67	0,54	0,34	0,23	0,20
СПАР, мг/дм ³	0,87	0,70	0,65	0,34	0,35	0,36
Нафтопродукти, мг/дм ³	3,89	1,80	1,78	1,09	0,58	0,05
Запах, бали	5	4	3	3	1	1

¹³ Magas N. A study on wastewater treatment intensification using effective microorganisms at varying values of factors influencing treatment efficiency. Dynamics of the development of world science. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2019. P. 245–249. URL: <http://sci-conf.com.ua>

¹⁴ Трохименко Г. Г. Результати застосування препарату «Тамір» для доочищення стічних вод комунального підприємства (м. Скадовськ). *Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 59. С. 243–248.

Таблиця 4

**Результати застосування препарату «Гамір»
у розведенні 1 : 1500 без аерації**

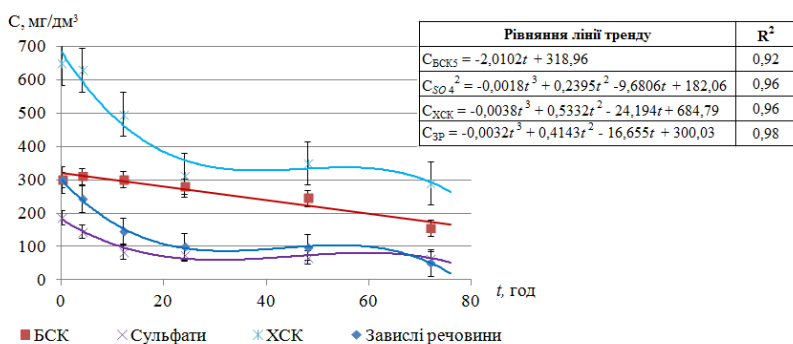
Назва	Результат вимірювання					
	До очищення	Після				
		4 години	12 годин	24 години	48 годин	72 години
1	2	3	4	5	6	7
рН	8,1	8,0	7,5	6,3	6,8	6,9
Завислі речовини, мг/дм ³	300,1	242,9	147,0	100,1	98,6	51,2
Сухий залишок, мг/дм ³	1500,7	1300,0	1250,3	1140,2	1080,0	1050,7
Розчинений кисень, мг/дм ³	5,9	6,0	7,2	6,8	6,9	7,3
БСК, мг О ₂ /дм ³	300,2	310,7	301,1	280,0	245,1	155,0
ХСК, мг О ₂ /дм ³	650,0	630,4	497,3	313,6	350,1	290,0
Нітрит-іон, мг/дм ³	1,0	1,1	0,9	0,7	0,2	0,2
Нітрат-іон, мг/дм ³	1,5	1,3	0,9	0,5	0,4	0,2
Сульфати, мг/дм ³	187,0	145,9	84,2	72,0	69,9	66,0
Фосфати, мг/дм ³	10,8	12,7	15,3	12,0	11,4	10,1
СПАР, мг/дм ³	0,87	0,80	0,87	0,76	0,65	0,56
Нафтопродукти, мг/дм ³	3,89	2,90	1,09	1,90	1,19	0,97
Запах, бали	5	5	3	3	2	2

Проаналізувавши отримані дані, можемо зробити висновки, що аерація значно підвищує ступінь очищення води за рахунок включення більшої кількості мікробіотичних популяцій до біохімічних реакцій і збільшення харчових ланцюгів, підвищення рівня ферментативної активності, розкладання білкових сполук, інтенсифікації нитрифікації. Як наслідок, підвищується рівень споживання кисню протягом перших годин. При використанні «Гаміру» з аерацією сульфати знизилися у 10 разів, а без аерації у 3 рази. Значно знизилися також показники за хлорид-іонами.

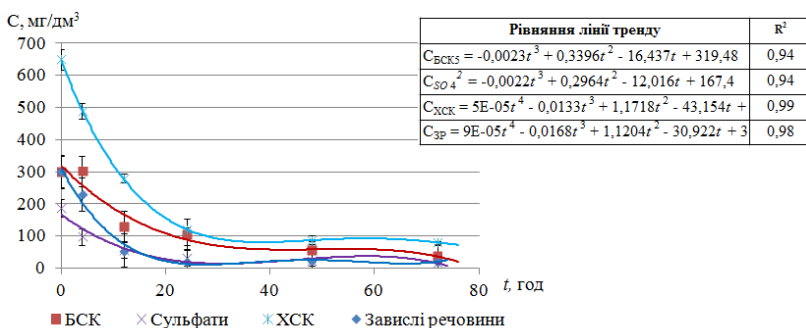
У результаті кумуляції у стічних водах різних мінеральних речовин, таких, як хлориди і сульфати, в усіх пробах концентрація хлоридів перевищує допустимі значення у багато разів. При концентрації більше

400 мг/дм³ гине значна кількість активних мікроорганізмів внаслідок клітинного плазмолізу, а вплив хлоридів калію та натрію викликає руйнування мембранних структур.

За результатами лабораторних досліджень було встановлено закономірності впливу ефективних мікроорганізмів (ЕМ-препаратів) на ступінь біологічного очищення комунально-побутових стічних вод (рис. 5) та визначено умови інтенсифікації доочищення стічних вод при застосуванні даних препаратів, при яких досягнуто зниження ХСК та БСК, концентрації сполук біогенних елементів – азоту та фосфору, заліза, органічних речовин, нафтопродуктів та завислих речовин в очищеній воді у порівнянні з традиційними біологічними методами.



а)



б)

Рис. 5. Динаміка зміни концентрації завислих речовин, БСК₅, сульфатів та ХСК при застосуванні ЕМ-препаратів для доочищення стічної води МКП «Миколаївводоканал»:

а – без аерації; б – з аерацією

Отже, за результатами досліджень мікробіологічний препарат вже через добу покращує як органолептичні властивості, наприклад, запах, а також значну кількість хімічних показників. Лабораторні дослідження проводились при температурі 24°C, у виробничих умовах на очисних спорудах далеко не завжди можливо підтримувати таку температуру. В ідеальних умовах препарат дозволяє значно знизити концентрації шкідливих компонентів, однак, як показали дослідження, проведені Екологічною лабораторією Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова на комунальних підприємствах Півдня України, препарат добре себе зарекомендував при очищенні води у період найвищого навантаження. Враховуючи ефективність ЕМ-препарату «Тамір» для очищення стічних вод, що надходять на Галицинівські очисні споруди, його можна рекомендувати для доочищення води на даному комунальному підприємстві як безпосередньо у відстійниках, так і при комплексному використанні у аеротенках.

Рекомендації з реконструкції згаданої схеми очищення стічних вод наведено на рисунку 6.

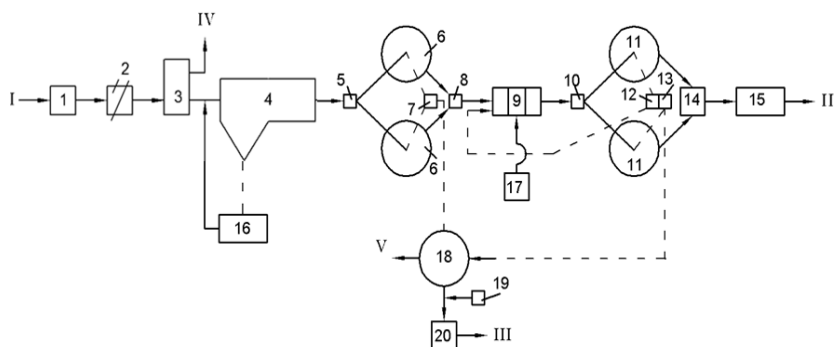


Рис. 6. Схема реконструкції очисних споруд каналізації МКП «Миколаївводоканал», с. Галицинове:

1 – приймальна камера; 2 – решітки; 3, 18 – метантенки; 4 – піскоуловлювачі;
5 – розподільна камера; 6 – первинні відстійники; 7 – приймальна камера сирого осаду;
8 – приймальна камера освітленої води; 9 – аеротенк; 10 – розподільна камера
освітленої води; 11 – вторинні відстійники; 12 – приймальна камера активного мулу;
13 – насосна станція активного мулу; 14 – приймальна камера; 15 – окислювальний
канал; 16 – піскові майданчики; 17 – компресорна станція; 19 – витратний бак
флокулянту; 20 – фільтр прес; I – подача стічної води; II – скид води; III – осад на
компостування; IV, V – біогаз на переробку

Згідно запропонованої схеми необхідним є встановлення метантенків (1, 18) для анаеробної стабілізації осаду, отримання біогазу та вирішення не тільки екологічних, але й енергетичних проблем комунального підприємства. До існуючої класичної схеми очищення стічних вод слід додати доочищення від біогенних елементів та органічної речовини із застосуванням препарату «Тамір» серії ефективних мікроорганізмів у аеротенку (9) та у первинних відстійниках (6), що особливо актуальним є при збільшенні навантаження на очисні споруди у літній період.

З реалізацією запропонованої схеми реконструкції вирішується також надзвичайно гостра екологічна проблема даного підприємства щодо складування мулу на мулових майданчиках які займають значну площу поруч з територією очисних споруд і на сьогодні вже переповнені. Територіально, на очисних спорудах каналізації МКП «Миколаївводоканал» достатньо площі для реалізації проекту реконструкції та побудови біогазової станції та необхідних виробничих площадок. Необхідний матеріал – сирий осад, надлишковий мул, які є сировинними ресурсами у даному випадку, у достатній кількості утворюються на очисних спорудах. Згідно запропонованої схеми реконструкції, суміш осаду та мулу забирається і зброджується у двох метантенках об'ємом 10 000 м³ кожен протягом 10 днів при термофільному режимі (температура суміші осаду і мулу 55 °С).

3.2. Створення безстічних технологічних схем очищення води від іонів важких металів

Іони важких металів відносяться до найтоксичніших забруднювачів довкілля. Так, для кадмію, згідно існуючих нормативів, допустима концентрація у питній воді < 1 мкг/дм³. Реально, практично у всіх системах господарсько-питного та промислового водопостачання концентрація за кадмієм перевищує допустимий рівень у 16–50 разів. Вміст нікелю, цинку, свинцю, міді, сполук хрому також сягає десятків і сотень мкг/дм³. Хоча допустимі рівні для даних металів дещо вищі.

Головною проблемою у даному випадку є скид промислових стоків, що містять іони важких металів, у міську каналізацію. Так, МПК «Миколаївводоканал» у м. Миколаєві до Бузького лиману разом з іншими поллютантами до початку військових дій скидало 89 % сполук міді, 87 % сполук цинку, 97 % сполук хрому. Це лише ті метали, які контролюються. Ці дані свідчать про те, що промислові підприємства скидали гальваностоки до міської каналізації, а міські очисні споруди не справлялися з таким навантаженням.

До підприємств, що скидають іони важких металів зі стічними водами в каналізацію і природні водойми, в першу чергу, слід віднести

підприємства газотурбобудування та суднобудівні заводи. Слід відмітити, що крім забруднення важкими металами природних водойм, відбувається забруднення цими металами осадів та активного мулу, що накопичуються на майданчиках міських станцій очищення води. Використовувати ці осади як добрива неможливо саме через високий вміст важких металів. Така ситуація характерна не лише для Миколаєва і міст Миколаївської області, але й для більшості великих і середніх міст України, промислових регіонів, малих міст та селищ міського типу.

Без сумніву, кращим вирішенням проблеми є створення замкнених систем водокористування у гальванічних виробництвах. На науковому рівні дані проблеми в основному вирішені¹⁵. Питання стосується лише їх реалізації.

Кращим варіантом є застосування іонного обміну. Відомо, що іони важких металів ефективно вилучаються з водних розчинів іонообмінним методом. Це стосується як концентрованих та і розведених розчинів. Іоніти легко регенеруються при використанні розчинів кислот. З кислих розчинів іони важких металів ефективно вилучаються електроекстракцією¹⁶. Нами було вивчено процеси сорбції та десорбції важких металів на катіоніті КУ-2-8 (рис. 7, 8)¹⁷.

Як видно з рисунків, сміність катіоніту за розглянутими металами досягає приблизно 2000 г-екв/дм³. При цьому, застосування катіонообмінних фільтрів дозволяє легко підтримувати концентрацію металів у промивних водах на рівні, нижчому допустимого для даних вод 5–15 мг/дм³. Катіоніт легко регенерується розчинами сірчаної кислоти (рис. 8). Ступінь десорбції металів складає 95 – 100 %.

Нами також було апробовано методику електроекстракції металів із регенераційних розчинів, описану в роботі¹⁸. Результати представлено у таблиці 3. Як видно з таблиці, метод дозволяє практично повністю вилучати метали з кислих розчинів у катодній області з отриманням розчинів сірчаної кислоти в анодній області. Дані розчини придатні для повторного використання при регенерації катіоніту. Вилучені метали є цінними компонентами і також придатні для повторного використання.

¹⁵ Гомеля Н. Д., Глушко Е. К., Желибо Е. П. Ионообменная очистка воды. *Химия и технология воды*. 2003. Т. 25, № 2. С. 438–445.

¹⁶ Інтенсифікація процесів комплексного очищення стічних вод промислових урбаністичних центрів / Н. А. Мешкова-Клименко, С. М. Епоян, М. Д. Гомеля та інші. *НАН України, КХХВ ім. А. В. Думанського*. Київ : ТОВ «ТО Ексклузив», 2013. 240 с.

¹⁷ Koliehova A., Trokhymenko H., Magas N. Extraction of Cu²⁺, Zn²⁺ and Ni²⁺ cations from industrial wastewater by ionite KU-2-8. *Technology audit and production reserves*. № 5/3 (49), 2019. P. 4–9. DOI: <https://10.15587/2312-8372.2019.181411>.

¹⁸ Trokhymenko G., Magas N., Gomelya M., Trus I., Koliehova A. Study of the process of electro evolution of copper ions from waste regeneration solutions. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 21, Is. 2, 2020. P. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/116351>

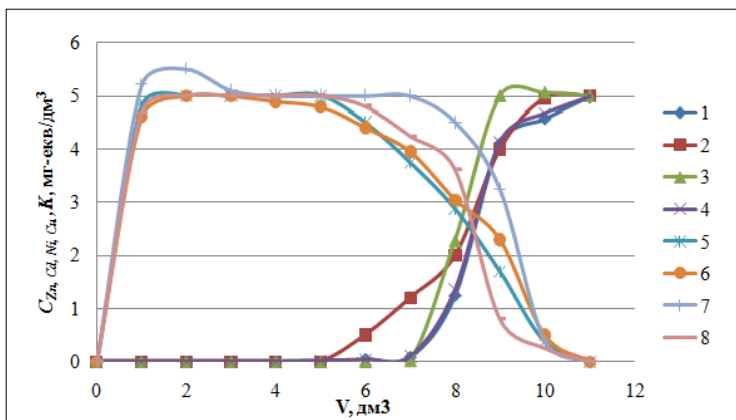


Рис. 7. Залежність концентрації цинку (1), кадмію (2), нікелю (3) та міді (4), кислотності розчинів при сорбції цинку (5), кадмію (6), нікелю (7) та міді (8) з 0,005 н розчинів сульфатів металів на катіоніті КУ-2-8 ($V_i = 20 \text{ см}^3$) в кислої формі (ПОДС₁ = 2059 мг екв/дм³; ПОДС₂ = 1923 мг екв/дм³; ПОДС₃ = 1965 мг екв/дм³; ПОДС₄ = 2060 мг екв/дм³)

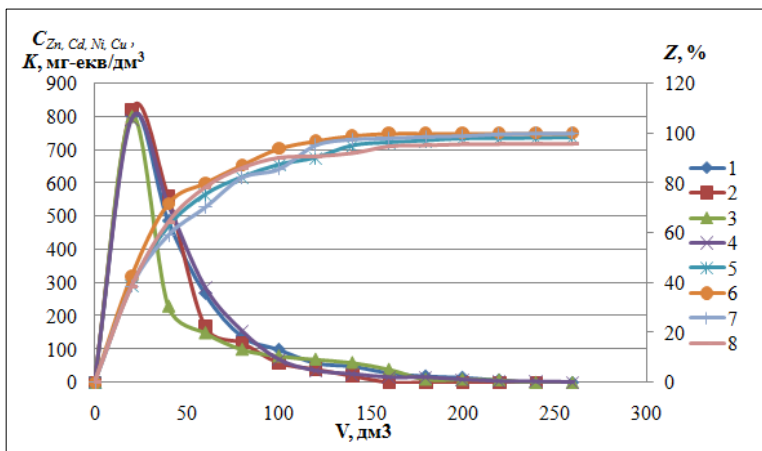


Рис. 8. Залежність вихідних концентрацій цинку (1), кадмію (2), нікелю (3) та міді (4), ступеня десорбції цинку (5), кадмію (6), нікелю (7) та міді (8) від об'єму пропущеного розчину 8 % сірчаної кислоти через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 20 \text{ см}^3$) відповідно в Zn^{2+} (1; 5); Cd^{2+} (2; 6); Ni (3; 7); Cu (4; 8)

Таблиця 3

Залежність ефективності виділення міді (I), кадмію (II), цинку (III) та нікелю (IV) в двокамерних електролізерах (аніонна мембрана МА-41) кислотності в анодній камері від часу електролізу при кислотності католіту 500 мг екв/дм³, аноліту 40 мг екв/дм³ та при напрузі 40 В

t, хв	С, мг-екв/дм ³				К, мг-екв/дм ³				В, %			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	439,0	92,0	128,0	134,0	40	40	40	40	—	—	—	—
60	290,0	31,0	85,0	71	631,6	600,0	585	563	97,1	100,0	14,0	21,0
120	148,5	14,0	32,0	31	724,4	617,0	629	619	97,0	80,3	76,4	80,2
180	16,3	1,4	16,0	14	810,4	618,0	640	639	99,5	60,0	61,6	70,8
240	3,3	0,8	6,0	4	818,9	620,0	641	651	74,4	8,4	52,4	44,8
300	2,0	0,4	4,0	1,3	820,0	620,0	643	657	13,6	5,2	35,7	32,3
360	0,6	0,0	3,0	1,0	820,6	620,0	643	658	10,1	5,2	17,9	8,1
420	0,3			0,6	820,9			658	1,5	—		8,0
480	0,1			0,4	820,7			658	0,8	—		4,2

Виходячи з наведених результатів, нами була розроблена принципова замкнена технологічна схема вилучення важких металів із промивних вод гальванічних виробництв (рис. 9). Дана схема є повністю безстічною. Вона забезпечує вилучення іонів Cr (III) на першій стадії катіонування, всіх інших іонів важких металів (Zn, Cu, Cd, Ni та інші) на другій стадії катіонування, хроматів на першій стадії аніонування на високоосновному аніоніті АВ-17-8 та всіх інших аніонів на другій стадії аніонування на низькоосновному аніоніті Dowex Marathon WBA. Особливістю даної технології є те, що іони хрому (III) вилучаються на катіоніті першого ступеню, так як селективність сильно кислотних катіонітів за іонами із зарядом (3+) значно вища, у порівнянні з двома однозарядними іонами¹⁹. Кислі регенераційні розчини, що містять іони Cr³⁺ та надлишок сірчаної кислоти використовуються для кислотої регенерації аніоніту АВ-17-8 у хроматній формі. При наявності етиленгліколю у розчині хромати, сорбовані на аніоніті відновлюються до Cr³⁺, глюколь окислюється до CO₂ і води. При цьому відбувається повна регенерація аніоніту з отриманням концентрованого розчину сульфату хрому (III), який широко застосовується у шкіряних виробництвах та при обробці хутра²⁰.

¹⁹ Гомеля М. Д., Сагайдак І. С., Радовенчик В. М. Визначення оптимальних умов очистки промислових вод гальванічних виробництв за допомогою аніоніту АВ-17-8 від хроматів. *Екотехнології та ресурсосбереження*. 1997. № 5. С. 54–56.

²⁰ Гомеля М. Д., Глушко О. В., Радовенчик В. М. Вивчення процесів очистки води від хроматів на аніоніті АВ-17-8. *Екотехнології та ресурсосбереження*. 2002. № 4. С. 41–44.

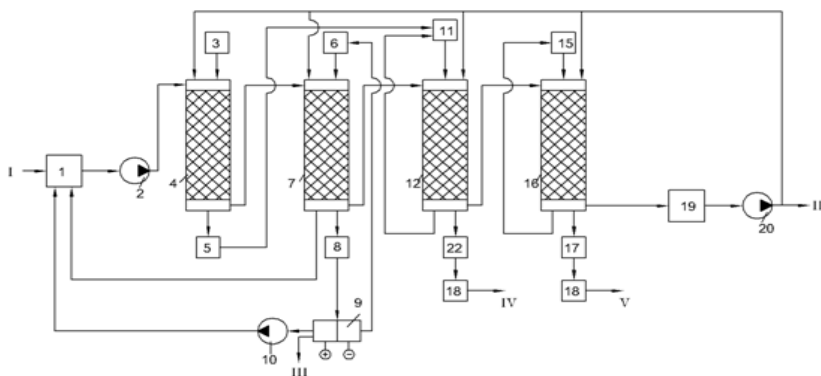


Рисунок 9 – Принципова технологічна схема очищення промивних вод гальванічних виробництв від іонів важких та кольорових металів:

1 – приймальна камера; 2, 10, 20 – насоси; 3, 6 – витратні баки розчинів сірчаної кислоти; 4, 7 – катіонообмінні фільтри (КУ-2-8); 5, 8, 13, 17 – резервуари відпрацьованих регенераційних розчинів; 9 – двокамерний електролізер (мембрана МА-40); 11 – витратний бак розчину етиленгліколю та сірчаної кислоти; 12 – аніонообмінний фільтр з високоосновним аніонітом АВ-17-8; 14, 18 – нейтралізатор; 15 – витратний резервуар розчину аміаку; 16 – аніонообмінний фільтр з низькоосновним аніонітом (Dowex Marathon WBA); 19 – резервуар очищеної води; I – подача промивних вод з гальванічних виробництв; II – повернення води у ванни промивки деталей; III – відновлені метали (Cu, Zn, Cd, Ni та ін.) на повторне використання; IV – розчин сульфату хрому (III) для використання в обробці хутра та шкіри; V – розчин сульфату, нітрату та фосфату аміаку на виробництво рідких добрив

Катіони інших важких металів сорбуються на фільтрах 2-го ступеня катіонування. Регенеруються фільтри розчинами 5÷8 %-ї сірчаної кислоти. З кислих розчинів важкі метали вилучають методом електроекстракції, як було описано вище. Кислі розчини використовують багаторазово. Від сульфатів, нітратів та фосфатів воду очищують на 2-й стадії аніонування. Так як сорбцію аніонів ведуть із кислих розчинів, то використовують низькоосновний аніоніт Dowex Marathon WBA в основній формі. Регенерацію аніоніту проводять розчином аміаку. Отримані після регенерації розчини містять сульфат, нітрат та фосфат амонію і придатні для виготовлення рідких добрив. Повністю знесолена вода після іонообмінних фільтрів направляється на виробництво для повторного використання²¹. Таким чином реалізується безвідходна

²¹ Степова О. В., Трохименко Г. Г. Технології захисту водного середовища : навчально-методичний посібник для спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» всіх форм навчання / Полтава : НУ «Полтавська політехніка

технологія очищення води від іонів важких металів, що дозволяє організувати замкнені системи промивки деталей у гальванічних виробництвах.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеної попередньої оцінки ступеня екологічної небезпеки джерел забруднення водного середовища та впливу на гідроекосистеми Миколаївської області розроблені основні напрямки технічного вирішення проблеми їхнього захисту від антропогенного впливу:

1. Визначено умови підготовки води господарсько-питного призначення без скиду промивних вод, що дозволяє запобігти забрудненню водойм скидом води на станціях водопідготовки.

2. Показано, що застосування процесів пом'якшення та знесолення природних вод, обробка води стабілізаторами накопуютвення дозволяє організувати на підприємствах енергетичного комплексу безстічні системи охолодження, або значно скоротити скид води на пропуску системи.

3. Застосування ЕМ-технологій та іонообмінних технологій дозволяє зменшити об'єми скиду біогенних елементів та запобігає скиду іонів важких металів у довкілля, що в умовах Миколаївської області забезпечить захист природних водойм від забруднення згаданими політантами.

АНОТАЦІЯ

Розроблено основні напрямки технічного вирішення проблем захисту гідроекосистем басейну річки Південний Буг в межах Миколаївської області від техногенного впливу за рахунок реконструкції станції водопідготовки, що забезпечить безстічний режим роботи станції. Застосування процесів пом'якшення, знесолення та стабілізаційної обробки води на підприємствах енергетичного комплексу дозволить організувати безстічні системи охолодження та скоротити обсяг водокористування. Застосування ЕМ-технологій та технологій іонного обміну на комунальних підприємствах дозволить зменшити обсяги скиду біогенних елементів та іонів важких металів у довкілля. Впровадження запропонованих заходів дозволяє значно знизити рівень техногенного впливу на гідросистему та підвищити рівень екологічної безпеки водних об'єктів Миколаївської області.

Література

1. Магась Н. І. Вплив природних та антропогенних чинників на формування якості поверхневих вод Південного Побужжя. Чиста вода. *Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти* : матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Київ : КПІ ім. Сікорського. 2019. С. 136–137. URL: <http://wtwst.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Pure-water-2019.pdf>
2. Магась Н. І., Трохименко Г. Г. Оцінка впливу берегових джерел скиду стічних вод на стан водного середовища. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. 2017. № 2 (469). С. 98–106.
3. Magas N., Trokhymenko G., Blahodatnyi V. Development of procedure for assessing the degree of enviromental hazard from the sources of aquatic environment pollution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol.5, № 10 (95). P. 56–65.
4. Магась Н. І., Трохименко Г. Г., Гомеля М. Д. Реконструкція станцій водопідготовки як один із заходів захисту гідроекосистем від антропогенних впливів. *Пріоритети сучасної науки (частина I)* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: МЦНД, 2018. С. 58–59.
5. Абрамов Н. Н. Водоснабжение: учебник для вузов 3-е изд. Москва : Стройиздат, 1982. 440 с.
6. Кульский Л. А. Теоретические основы и технологи кондиционирования воды. Киев : Наук.думка, 1983. 560 с.
7. Когановский А. М. Клименко Н. А., Леванко Т. М. Очистка и повторное использование промышленных сточных вод в промышленном водоснабжении. Москва : Химия, 1983. 288 с.
8. Гончарук В. В. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды. Киев : Наук. думка, 2005. 400 с.
9. Магась Н. І., Облочинський Р. І. Аналіз існуючих підходів до водоспоживання та водовідведення атомного енергокомплексу ВП «Южно-Українська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом». *Проблеми екології та енергозбереження* : матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2021, с. 67–70.
10. Гомеля М. Д., Косачова Ю. В. Створення добавок для забезпечення ресурсозбереження в системах охолодження. *Наукові вісті НТУУ «КПТУ»*. 2004. № 5. С. 101–105.
11. Макаренко И. М., Шаблий Т. А., Крысенко Т. В. Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике. *Химия и технология воды*. 2009. 31, № 5. С. 542–551.

12. Магась Н. І., Трохименко Г. Г. Розробка методів інтенсифікації процесів біологічного доочищення комунально-побутових стоків за допомогою ЕМ-технологій. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг* : матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. С. 204–205. URL: <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/16024/importantdoc/proceedingswswr2019.pdf>

13. Magas N. A study on wastewater treatment intensification using effective microorganisms at varying values of factors influencing treatment efficiency. Dynamics of the development of world science. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2019. P. 245–249. URL: <http://sci-conf.com.ua>

14. Трохименко Г. Г. Результати застосування препарату «Тамір» для доочищення стічних вод комунального підприємства (м. Скадовськ). *Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 59. С. 243–248.

15. Інтенсифікація процесів комплексного очищення стічних вод промислових урбаністичних центрів / Н. А. Мешкова-Клименко, С. М. Епоян, М. Д. Гомеля та інші. *НАН України, КХХВ ім. А. В. Думанського*. Київ: ТОВ «ТО Ексклюзив», 2013. 240 с.

16. Гомеля Н. Д., Глушко Е. К., Желибо Е. П. Ионообменная очистка воды. *Химия и технология воды*. 2003. Т. 25, № 2. С. 438–445.

17. Koliehova A., Trokhymenko H., Magas N. Extraction of Cu²⁺, Zn²⁺ and Ni²⁺ cations from industrial wastewater by ionite KU-2-8. *Technology audit and production reserves*. № 5/3 (49), 2019. P. 4–9. DOI: <https://10.15587/2312-8372.2019.181411>.

18. Trokhymenko G., Magas N., Gomelya M., Trus I., Koliehova A. Study of the process of electro evolution of copper ions from waste regeneration solutions. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 21, Is. 2, 2020. P. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/116351>

19. Гомеля М. Д., Сагайдак І. С., Радовенчик В. М. Визначення оптимальних умов очистки промислових вод гальванічних виробництв за допомогою аніоніту АВ-17-8 від хроматів. *Екотехнологии и ресурсосбережение*. 1997. № 5. С. 54–56.

20. Гомеля М. Д., Глушко О. В., Радовенчик В. М. Вивчення процесів очистки води від хроматів на аніоніті АВ-17-8. *Екотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. № 4. С. 41–44.

21. Степова О. В., Трохименко Г. Г. Технології захисту водного середовища : навчально-методичний посібник для спеціальностей 101«Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» всіх форм навчання. Полтава : НУ «Полтавська політехніка імені Юрія

Кондратюка» ; Миколаїв : Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2022. 306 с.

Information about the authors:

Magas Nataliya Ivanivna,

Candidate of Engineering Science, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Ecology and Environmental
Technologies

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
9, Heroiv Ukrainy ave., Mykolaiv, 54025, Ukraine

Trokhymenko Ganna Hryhorivna,

Doctor of Engineering Science, Professor,
Head of Department Department of Ecology
and Environmental Technologies

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
9, Heroiv Ukrainy ave., Mykolaiv, 54025, Ukraine

Gomelya Mykola Dmytrovych,

Doctor of Engineering Science, Professor,
Head of Department of Ecology and Plant Polymers Technology
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute”

37, Peremogy av. 37, Kyiv, 03056, Ukraine