
ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION,
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 614.7+628.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.19>

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕННЯ МІСТА КРОПИВНИЦЬКИЙ

Кравченко В. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-2245-7194
Web of Science Researcher ID: GQQ-2577-2022

Білоус Ю. В. – головний технолог
Обласного комунального виробничого підприємства «Дніпро-Кіровоград»
ORCID ID: 0009-0009-6083-8810

Ключовою проблемою у питаннях забезпечення якісною питною водою населення та удосконалення діючих очисних споруд населених пунктів України залишається підвищення ступеню очищення стічних вод від забруднюючих елементів, зокрема азоту і фосфору, які викликають процес евтрофікації водоїм. З метою визначення ефективності функціонування каналізаційних очисних споруд (КОС) міста Кропивницький після їх реконструкції (березень 2023) для глибокої очистки біогенних речовин, проведено дослідження по впливу очищених стічних вод на фізико-хімічні характеристики річки Інгул. Дослідження проводилися з січня по серпень шляхом відбору двох проб води з річки – вище та нижче за течією від місця, куди виходить трубопровід скиду очищених стічних вод з міських очисних споруд. Результати досліджень показали, що абсолютна більшість досліджених параметрів води з р. Інгул не виходить за межі граничнодопустимих скидів (ГДС). На відміну від попередніх років, показники очистки по біогенним речовинам знаходяться у цих межах навіть у теплий період року. Перевищення значень гранично допустимих концентрацій (ГДК) сульфатів і хлоридів пояснюється природним фоном річки Інгул, що підтверджується багаторічними спостереженнями. З метою визначення реальної ефективності очистки стічних вод на КОС після їх реконструкції, проведено хімічний аналіз проб води на вході очисних споруд та на виході з біоставків. Визначено, що перевищення норм ГДС спостерігалось у літній місяць тільки по фосфатам на 6%, але в цілому їх кількість та азоту амонійного на виході з біоставків зменшилась відповідно на 13% та 28%, що позитивно позначилося на цих показниках у річці. Результати досліджень довели доцільність та ефективність проведеної реконструкції КОС м. Кропивницький для глибокого очищення біогенних речовин.

Ключові слова: стічні води, біогенні елементи, фізико-хімічні параметри, каналізаційні очисні споруди, ефективність функціонування.

Kravchenko V. I., Bilous Yu. V. Efficiency of work of water distribution facilities city of Kropyvnytsky

The key problem in providing the population with high-quality drinking water and improving existing wastewater treatment facilities in the settlements of Ukraine remains the improvement of the degree of purification of wastewater from polluting elements, in particular nitrogen and phosphorus, which cause the process of eutrophication of water bodies. In order to determine the effectiveness of the functioning of sewage treatment plants (STP) in the city of Kropyvnytsky after their reconstruction for deep cleaning of biogenic substances, a study was conducted on the effect of treated wastewater on the physicochemical characteristics of the Ingul River. The research was conducted from January to August by taking two samples of water from the river – upstream and downstream from the point where the discharge pipeline of treated wastewater from the city's sewage treatment plant exits. The results of the research showed that the absolute majority of the studied water parameters from the Ingul River do not exceed the limit of permissible discharges (LPDs). In contrast to previous years, the indicators of purification for biogenic substances are within these limits even in the warm period of the year. Exceeding the maximum allowable concentrations (MPC) of sulfates and chlorides is explained by the natural background of the Ingul River, which is confirmed by long-term observations. In order to determine the real efficiency of wastewater treatment at the (STP) after its reconstruction, a chemical analysis of water samples at the entrance to the treatment facilities and at the exit from the bioponds was carried out. It was determined that the exceedance of LPDs norms was observed in the summer month only for phosphates by 6%, but in general their amount and ammonium nitrogen at the exit from bioponds decreased by 13% and 28%, respectively, which had a positive effect on these indicators in the river. The research results proved the expediency and effectiveness of the reconstruction of the Kropyvnytskyi wastewater treatment plant for deep purification of biogenic substances.

Key words: wastewater, biogenic elements, physical and chemical parameters, sewage treatment plants, efficiency of functioning.

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямків діяльності водоканалів є захист природних водойм від забруднення. Основними джерелами хімічного та бактеріологічного їх забруднення є скиди промислових підприємств, поверхневі зливи з територій населених пунктів та сільськогосподарських угідь, техногенні аварії тощо.

Не менш небезпечними для екологічного та санітарного стану водойм є побутові комунальні стоки, які часто надходять з населених пунктів до річок у недостатньо очищеному стані. Як свідчить практика, такі стоки містять значну кількість біогенних речовин, що найбільш активно беруть участь у життєдіяльності водних організмів, а саме: вуглець, азот, фосфор і калій. При очищенні стічних вод найбільша увага приділяється видаленню азоту і фосфору, оскільки традиційна біологічна очистка не забезпечує достатньої глибини їх видалення. Так, при механічному очищенні вміст азоту і фосфору знижується на 8–10%, а при біологічному – на 35–50% [1].

Необхідність видалення біогенних елементів із стічних вод полягає у тому, що з'єднання азоту і фосфору викликають процес евтрофікації водойм, тобто зростання біологічної рослинності водойм. Він супроводжується надмірним розвитком водоростей, особливо зелених та синьо-зелених, переважанням небажаних видів планктону і порушенням життєдіяльності риб. На загальну продуктивність водойм впливає кількість і характер сполук азоту та фосфору. Так, при сприятливих умовах 1 мг азоту продукує 20–25 мг водоростей, 1 мг фосфору – 40–250 мг [2]. Крім того, наявність сполук фосфору і азоту викликає біологічне обростання трубопроводів, колекторів та іншого каналізаційного обладнання, а присутність амонійного азоту, нітритів і нітратів призводить до розвитку корозійних процесів.

Також останніми роками у комунальні побутові стоки все більше потрапляє синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), серед яких значну частку складають аніонні (АПАР), що зокрема використовують у побуті для прання та

миття. Вміст таких речовин сприяє утворенню піни на поверхні відкритих водойм, що ускладнює доступ атмосферного кисню водним організмам і призводить до їх заморю і загибелі.

Відомо, що захист довкілля від зазначених негативних чинників покладено на каналізаційні очисні споруди (КОС), які споруджено у населених пунктах. Від ефективності їх роботи залежить стан прилеглих водойм, у які відводяться очищені стічні води. Сучасний загальний технічний стан інженерних мереж та споруд станцій очистки стічних вод не відповідає сучасним вимогам [1]. Зношення основних фондів очисних станцій перевищує 70%, а технології очистки стічних вод на переважній більшості споруд відповідають нормативним вимогам кінця минулого сторіччя. Тому докорінної реконструкції і модернізації потребує вся галузь, пов'язана з водовідведенням.

Ефективність роботи КОС визначається за реальними результатами їх роботи, які позначаються на чистоті водойми, куди відводяться очищені стічні води. Такими результатами є фізико-хімічні показники води водойм, як найбільш надійний спосіб оцінювання ефективності роботи КОС.

Отже визначення рівня захищеності водойми певного регіону від шкідливого впливу населеного пункту шляхом кількісного порівняння фактичних значень фізичних, фізико-хімічних та інших параметрів природних вод із максимально допустимими значеннями є важливою науково-прикладною задачею.

Виклад основного матеріалу. Система водовідведення населених пунктів є складним комплексом споруд та засобів, експлуатація яких потребує систематичного проведення технічних, економічних та організаційних заходів. Від вчасного та ефективного розв'язання задач, пов'язаних з їх проведенням, залежить нормальне життя населення та благоустрій міст. З часом будь-яка налагоджена система каналізації з часом перестає забезпечувати потреби споживачів, які постійно зростають.

Перша черга комплексу міської каналізації м. Кропивницький, потужністю 30 тис.м³/добу, була введена в експлуатацію в 1974 році у складі: камера приймання стоків, відділення решіток, піскоуловлювачі, первинні відстійники, вторинні відстійники, аеротенки, повітродувно-насосна станція, піскові та мулові майданчики.

Таке застаріле, енергоємне технологічне обладнання не давало можливості забезпечити якість очистки стічних вод до нормативних вимог по скиду їх у водойму. Так, в стічних водах значення ГДК на виході з очисних споруд перевищували у середньому норми ГДС по БСК₅ на 32%, по фосфатам на 40% і по азоту амонійному на 39%.

Система водовідведення м. Кропивницького, яка складається з самопливних колекторів, каналізаційних насосних станцій та напірних трубопроводів, являє собою неповнороздільну систему каналізації, що приймає на себе всі господарсько-побутові стоки. Вони подаються на очисні споруди, де проходять повний цикл очищення з подальшим відведенням очищеної води у річку Інгул. Така практика використовується у більшості країн світу [3].

Для підвищення ефективності очистки стічних вод в ОКВП «Дніпро-Кіровоград» було розроблено та реалізовано проект реконструкції КОС у м. Кропивницький, відповідно до якого виконано наступні роботи:

- реконструкція будівлі решіток;
- реконструкція пісколовків;
- реконструкція насосної станції первинних відстійників;

- реконструкція первинних відстійників;
- реконструкція аеротенків та вторинних відстійників;
- будівництво нової будівлі насосної станції з повітродувним обладнанням;
- будівництво нової станції знезараження гіпохлоритом натрію;
- влаштування станції дозування коагулянту для видалення фосфору.

Метою даного дослідження було визначення ефективності функціонування КОС м. Кропивницький після реконструкції з проведенням фізико-хімічного аналізу проб води з р. Інгул та вплив на водойму очищених стічних вод.

Для досягнення зазначеної мети на очисних спорудах м. Кропивницький були виділені наступні технологічні вузли очищення стічних вод (рис. 1):

- вузол механічного очищення (будівля решіток, пісколовки, первинні відстійники);
- вузол біологічного очищення (біореактор, вторинні відстійники);
- вузол знезараження очищених стічних вод (гіпохлоритом натрію);
- вузол реагентного видалення фосфору (процес коагуляції);
- комплекс обробки й зневоднення осаду.

Ефективна робота всього комплексу визначається, насамперед, механічним очищенням стічних вод від нерозчинних у воді мінеральних і органічних речовин. Механічним очищенням вилучаються мінеральні компоненти стічних вод і з найбільшою ефективністю проходить біологічне очищення.

Найбільш відповідальним моментом в очищенні стічних вод є споруди, що забезпечують технологію біологічного очищення, в яких відбувається основне вилучення біогенних елементів і органічних забруднюючих домішок. Технологічна схема передбачає глибоке біологічне очищення стічних вод від сполук переважно азоту та фосфору.

З метою підтримання епідеміологічної безпеки проводять знезараження стічних вод перед їх скидом у водойму. Комплекс обробки осаду, що утворюється в процесі очищення стічних вод, зменшує його обсяг до такого стану, який дає можливість розміщувати його на мулових майданчиках і займати в рази менші площі складування.

Після здійснення описаних вище операцій, очищені стічні води м. Кропивницький скидаються на біологічні ставки для доочистки, а потім у річку Інгул.

На протязі 3-х кварталів 2023 року з р. Інгул поблизу виходу зливних труб КОС м. Кропивницький відбиралися 2 проби води:

- пр. № 1 – 500 м вище за течією від місця скиду очищених стічних вод;
- пр. № 2 – більше 500 м нижче за течією.

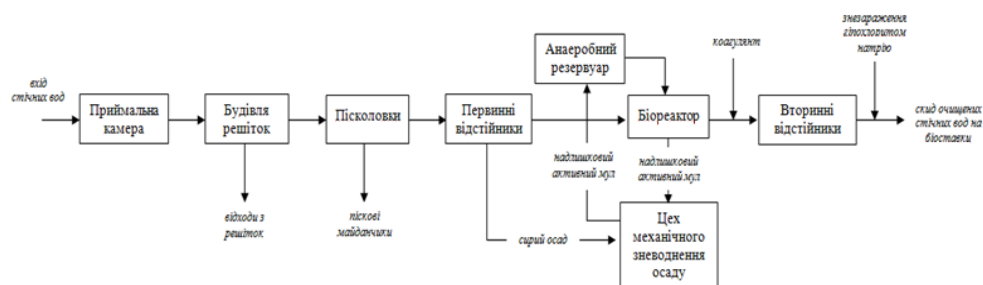


Рис. 1. Принципова схема технології очищення та обробки осадів стічних вод

Зразки води відбирались за методикою об'єднаної усередненої проби: у кожній з точок на відстанях близько 1 м, 2 м і 3 м від берега відбирались окремі проби об'ємом 1,5 дм³, які перемішували між собою. Із отриманої суміші відбиралась робоча проба об'ємом 2,0 дм³, яка і була об'єктом лабораторного вивчення.

Для визначення повного комплексу фізико-хімічних показників відібрані проби води консервувались, відповідно до встановлених НД вимог, і доставлялись у лабораторію водовідведення Кропивницького ВКГ ОКВП «Дніпро – Кіровоград». Лабораторне вивчення фізико-хімічних параметрів відібраних проб води проводили згідно із методиками та відповідними КНД.

Числові значення відповідних параметрів проб, отримані в результаті їх лабораторного дослідження, піддавались стандартній статистичній обробці. Для кожного параметра, що визначався експериментально, проводилось не менше п'яти паралельних вимірювань. З них виводилась середня величина, абсолютне та стандартне відхилення, середня квадратична похибка.

Для порівняння експериментально отриманих значень фізико-хімічних параметрів з вимогами нормативних документів обрано значення показників гранично допустимих скидів (ГДС), які розроблені з метою отримання дозволу на спеціальне водокористування.

Лабораторно визначені числові значення фізико-хімічних показників зазначених двох проб річкової води наведено у таблиці 1. Для порівняння та наочного виявлення можливого перевищення забруднення окремих показників якості води на виході з біоставків відносно ГДС у таблиці 2 наведено відношення цих значень до значень відповідних ГДС.

Таблиця 1

Фізико-хімічні параметри проб води з річки Інгул, мг/дм³

№ з/п	Показник	ГДК, мг/дм ³	Січень		Квітень		Серпень	
			Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2
1	Прозорість	-	23,7	19,1	17,5	21,7	22,35	22,33
2	рН	-	7,66	7,49	7,86	7,76	7,86	7,82
3	Завислі речовини	15	8,92	12,52	14,8	13,03	10,33	10,63
4	Сухий залишок	822,9	948,2	845,4	908,6	863,6	1080,9	847,7
5	Сульфати	112	250,7	246,2	256,6	252,3	309,5	228,2
6	Хлориди	111	124,4	121,9	116,2	109,7	150,2	123,6
7	БСК ₅	15	4,8	8,9	5,23	5,06	5,1	6,0
8	ХСК	80	27,7	33,0	44,2	42,6	39,2	37,1
9	Азот амонійний	2,0	0,34	0,50	0,24	0,14	0,12	0,21
10	Нітрити	2,73	0,09	0,15	0,12	0,12	0,66	0,54
11	Нітрати	45	10,9	10,7	4,25	6,79	19,76	16,31
12	Фосфати	3,5	1,59	2,5	0,32	0,74	0,77	1,71
13	Нафтопродукти	0,3	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05
14	Залізо загальне	0,3	0,25	0,24	0,26	0,25	0,21	0,25
15	АПАР	0,21	0,05	0,05	0,063	0,069	0,06	0,06

Таблиця 2

Перевищення забруднення окремих показників якості води на виході з біоставків відносно ГДС

№ з/п	Показник	ГДС	Січень		Квітень		Серпень	
			Вихід	Вихід/ГДС	Вихід	Вихід/ГДС	Вихід	Вихід/ГДС
1	Завислі речовини	15	14,2	0,95	14,5	0,97	8,85	0,59
2	Сухий залишок	822,9	558,2	0,68	625	0,76	483,7	0,59
3	Сульфати	112	58,16	0,52	61,33	0,55	57,16	0,51
4	Хлориди	111	107,14	0,96	110,22	0,99	108,6	0,98
5	БСК ₅	15	14,96	0,99	10,95	0,73	11,76	0,78
6	ХСК	80	73,48	0,92	66,4	0,83	65,12	0,81
7	Азот амонійний	2,0	1,97	0,98	2,32	1,16	1,43	0,72
8	Нітрити	2,73	0,51	0,19	0,285	0,1	0,69	0,25
9	Нітрати	45	15,34	0,34	5,58	0,12	15,44	0,34
10	Фосфати	3,5	4,26	1,22	3,69	1,05	3,74	1,06
11	Нафто-продукти	0,3	0,053	0,18	0,041	0,14	0,077	0,26
12	Залізо загальне	0,3	0,298	0,99	0,37	1,23	0,273	0,91
13	АПАР	0,21	0,15	0,71	0,098	0,47	0,067	0,32

Для реального визначення ефективності очистки стічних вод на КОС м. Кропивницький, проведено хімічний аналіз проб води на вході до очисних споруд і на виході з біоставків. Результати таких досліджень представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Фізико-хімічні параметри проб води на вході до очисних споруд і на виході з біоставків, мг/дм³

№ з/п	Показник	Січень			Квітень			Серпень		
		Пр.2	Вхід	Вихід	Пр.2	Вхід	Вихід	Пр.2	Вхід	Вихід
1	Завислі речовини	12,52	329,9	14,2	13,0	209,9	10,3	10,6	218,8	8,85
2	Сульфати	246,2	64,4	58,16	252,3	66,8	61,1	228,2	63,7	57,2
3	Хлориди	121,9	121,7	107,1	109,7	127,5	110,6	123,6	138,0	108,6
4	БСК ₅	8,9	360,1	14,96	5,06	246,2	8,16	6,0	314,8	11,76
5	ХСК	33,02	865,2	73,48	42,6	648,6	62,9	37,1	855,7	65,1
6	Азот амонійний	0,50	49,23	1,97	0,14	56,3	1,44	0,21	75,3	1,43
7	Фосфати	2,50	31,58	4,26	0,74	25,1	3,41	1,71	28,7	3,74
8	Нафто-продукти	0,03	5,88	0,05	0,03	1,59	0,03	0,05	2,2	0,07
9	Залізо загальне	0,24	1,44	0,29	0,25	1,24	0,3	0,25	1,45	0,27
10	АПАР	0,05	1,38	0,15	0,07	2,16	0,07	0,06	1,82	0,07

Аналіз таблиці 1 показує, що абсолютна більшість досліджених параметрів води з р. Інгул не виходить за допустимі межі. Винятком є сульфати, вміст яких у 1-й і 2-й пробах перевищує ГДК більше ніж у два рази. Однак це пояснюється тим, що для України характерні територіальні особливості формування хімічного складу вод. Так, вміст показників сольового блоку, у тому числі і сульфатів, у деяких регіонах є значно більшим внаслідок природного формування складу вод, що також характерно для р. Інгул. Джерелом сульфатів є природні мінерали, через які проходить вода у процесі свого руху в природі.

Аналогічна ситуація спостерігається з перевищенням ГДК і для хлоридів. Концентрація хлоридів у річці Інгул зазвичай тримається у незначному перевищенні нормативних значень, але антропогенні чинники можуть призвести до значного їх перевищення.

З таблиці 2 видно, що після реконструкції аеротенків у стічних водах перевищення норм ГДС спостерігалось у літній місяць тільки по фосфатам на 6%, а значення по БСК₅ і по азоту амонійному не перевищували нормативні межі.

Вміст загального заліза перебуває близько до межі ГДС, однак це також пояснюється природним фоном річки, що підтверджується багаторічними спостереженнями. З таблиці 3 видно, що вміст заліза у воді на вході до очисних споруд значно (більше ніж у 4 рази) перевищує ГДС, що можливо пов'язано, зокрема, з незадовільним станом міської водопровідно-каналізаційної мережі, однак аналогічні значення скидів на виході з біоставків не перевищують нормативні.

З повідомлень щорічних звітів з 2020 року аналітичної лабораторії ОКВП «Дніпро-Кіровоград» значення амонійного азоту, нітратів, нітритів і фосфатів у літній період значно перевищували ГДС, у порівнянні із зимовими місяцями. Це пов'язано зі зміною температури води, що викликає зміну розчинності у ній кисню. У теплий період року фізіологічна активність мікроорганізмів звичайно підсилюється, розчинність кисню знижується, а у зимовий період – навпаки.

Результати досліджень довели доцільність та ефективність проведеної реконструкції аеротенків на КОС м. Кропивницький для глибокого очищення біогенних речовин, що можна спостерігати по сезонному підвищенні динаміки (з січня по серпень) ефективності очистки стоків. Так, кількість фосфатів та амонійного азоту на виході з біоставків у порівнянні з входом до очисних споруд зменшилась відповідно на 13% та 28%, що позитивно позначилося на цих показниках у річці. Такі показники свідчать про достатню ефективність роботи очисних споруд ОКВП «Дніпро-Кіровоград».

Висновки

1. Питання ефективного функціонування споруд очистки стічних вод, від яких залежить чистота відкритих водойм поблизу населених пунктів, залишається актуальним.

2. За лабораторно визначеним комплексом фізико-хімічних параметрів проб води з р. Інгул у місцях вище та нижче за течією поблизу виходу скиду очищених стічних вод з КОС м. Кропивницький оцінено ефективність їх роботи. Визначено, що з початку року (з січня по серпень) динаміка змін концентрації біогенних речовин-забруднювачів у р. Інгул після реконструкції аеротенків рухається до зменшення.

3. Загальну якість води у р. Інгул у місці нижче за течією після виходу скидних труб КОС м. Кропивницький можна вважати задовільною і стабільною. Визначені показники свідчать про ефективність проведеної реконструкції очисних споруд ОКВП «Дніпро-Кіровоград». На час дослідження вони функціонують у штатному режимі та забезпечують достатнє очищення стічних вод м. Кропивницький.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Доліна Л.Ф., Машихіна П.Б., Козачина В.А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с. <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/275c3765-e50f-4e89-8511-e58947e72f63/content>
2. Water Reality in Ukraine and Worldwide / L. Dolina, P. Mashykhina, A. Karpo, A. Mishchenko // Наука та прогрес транспорту. 2017. № 5 (71). С. 7–18. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_5_3
3. Qishlaqi A., Kordian S., Parsaie A. Hydrochemical evaluation of river water quality – a case study. *Applied Water Science*, 2017. No. 7. P. 2337–2342. DOI: 10.1007/s13201-016-0409-0.

REFERENCES:

1. Dolina, L.F., Mashykhina, P.B., Kozachyna, V.A. (2021) Rekonstruktsiia system vodopostachannia ta vodovidvedennia [Reconstruction of water supply and drainage systems]. Zhurfond Monohrafiia: Dnipro: 220 s <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/275c3765-e50f-4e89-8511-e58947e72f63/content> [in Ukrainian].
 2. Water Reality in Ukraine and Worldwide / L. Dolina, P. Mashykhina, A. Karpo, A. Mishchenko (2017) // Science and progress of transport № 5 (71). Pp. 7–18. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_5_3 [in English].
 3. Qishlaqi A., Kordian S., Parsaie A. (2017) Hydrochemical evaluation of river water quality – a case study. *Applied Water Science*, No. 7. P. 2337–2342. DOI: 10.1007/s13201-016-0409-0. [in English].
-