

Досліджено очищення стічної води від фосфатів. Предметом дослідження є зв'язок між концентрацією фосфатів на виході з очисної станції і показниками «кількість видів гідробіонтів», «об'єм мулу», «муловий індекс», «доза мулу». Виявлено, що коефіцієнти кореляції змінюються від $-0,39381$ до $-0,0485$. Також виявлено, вплив пори року на кількість гідробіонтів. Отримані результати сприяють поліпшенню контролю за процесом очищення води

Ключові слова: стічна вода, фосфати, гідробіонти, об'єм мулу, доза мулу, муловий індекс

Исследована очистка сточной воды от фосфатов. Предметом исследования является связь между концентрацией фосфатов на выходе из очистной станции и показателям «количества видов гидробионтов», «объем ила», «иловый индекс», «доза ила». Выявлено, что коэффициенты корреляции изменяются от $-0,39381$ до $-0,0485$. Также обнаружено влияние времени года на количество гидробионтов. Полученные результаты способствуют улучшению контроля за процессом очистки воды

Ключевые слова: сточная вода, фосфаты, гидробионты, объем ила, доза ила, иловый индекс

УДК 658.562:628.35

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.79911

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЇ МІЖ ГІДРОБІОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ АЕРОТЕНКУ І КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ФОСФАТІВ У ОЧИЩЕНІЙ СТІЧНІЙ ВОДІ

Ю. В. Шатохіна

Кандидат технічних наук, викладач

Кафедра публічного управління і менеджменту організацій*

E-mail: Juliaaabest@gmail.com

Л. М. Клінцов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інформаційних технологій в економіці*

E-mail: l.klincov@mail.ru

Н. С. Мазюк

Начальник каналізаційних очисних споруд**

E-mail: mazuknat@mail.ru

Н. І. Остряньська

Лаборант

Лабораторія контролю стічних вод**

E-mail: niost@meta.ua

*Чернігівський національний технологічний університет

вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна 14027

**Комунальне підприємство Чернігівводоканал

вул. Жабинського, 15, м. Чернігів, Україна 14017

1. Вступ

Недостатньо очищена стічна вода, яка скидається у поверхневі водойми, може містити фосфор, який викликає їх «цвітіння» внаслідок над удобрення з багатьма негативними наслідками цього процесу. Існуюче в Україні продовження забруднення фосфором водойм викликає необхідність посилення контролю процесу очищення, який залежить від різноманітних чинників [1, 2]. Контроль роботи очисної станції біологічного очищення здійснюється за допомогою хімічного аналізу наявності фосфатів у очищених стічних водах, а також гідробіологічного аналізу активного мулу аеротенку (виявлення видів гідробіонтів, об'єму мулу, дози мулу і мулового індексу) [3, 4]. Існуючі випадки перевищення залишкових концентрацій фосфатів у очищеній стічній воді порівняно зі встановленими нормативами роблять актуальним завдання поліпшення контролю за процесом очищення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В літературних джерелах розглядаються питання ефективного використання показників активного

мулу [5–17]. Визнається [5], що для забезпечення якості процесу очищення існує велика кількість параметрів, тривалість визначення деяких перевищує час знаходження стічної води на очисній станції. В роботі [6] пояснюється доречність розробки оперативних методів для контролю процесу очищення стічних вод. Пропонується здійснювати контроль функціонування аеротенку за фізичними показниками гідробіонтів [7], оскільки від біомаси активного мулу залежить здатність до очищення стічної води. Задовільно працюючий (гарний) мул має велике різноманіття по видовому складу і на очисних станціях постійно контролюються гідробіологічні показники. В роботі [8] досліджено наявність гідробіонтів, які ефективно очищують стічну воду від фосфора, і виявлено, що їх біомаса дорівнювала в розглянутих умовах близько 4,8 % від загальної маси активного мулу.

В реальних умовах очисних станцій здійснюється технологічний контроль за процесом біологічної очистки стічних вод з використанням таких показників, як об'єм мулу, доза мулу, муловий індекс. В літературних джерелах значна увага приділяється використанню комп'ютерних технологій [9] для контролю очищення стічної води, які поки що недосяжні для більшості очисних станцій. Зміни у складі активного

мулу залежно від сезону року виявлено у дослідженні [10], що потребує врахування для забезпечення якості стічних вод.

Ефективні результати забезпечує поєднання у біологічному очищенні анаеробних та аеробних процесів, що теж потребує контролю видів гідробіонтів [11]. Але проведений аналіз виявляє, що автори публікацій використані характеристики обмежують визначенням видів гідробіонтів, їх біомаси і не враховують кількісних даних щодо зв'язку розглянутої характеристики з показниками очищеної стічної води. В дослідженнях [12] представлено оцінювання екологічно важливих характеристик різноманітних представників активного мулу та виявлено, що зазвичай муловий індекс становить 80–150 мл/г, а при значеннях менше 80 мл/г можлива підвищена каламутність надосадової рідини.

Муловому індексу приділяється особлива увага, пропонується система контролю мулового індексу на основі оптичного метода, що дозволить оцінювати седиментаційні властивості мулу [13].

Вважається, що показники активного мулу (АМ) залежать від вмісту стічної води, тому необхідно враховувати конкретні умови. В роботі [14] аналізується співвідношення дози мулу за масою та мулового індексу, що дозволяє виділити п'ять зон перебігу процесу очищення стічних вод і виявити, що для блоку біологічної очистки каналізаційних споруд м. Чернігів бажані значення мулового індексу знаходяться в межах 150–230 см³/г, а в процесі нитчастого спухання муловий індекс зростає від 230 до 900 см³/г. Можна зауважити, що в цій роботі також не розглядається зв'язок між показниками активного мулу і концентрацією фосфатів у очищеній стічній воді.

Для вдосконалення процесу біологічного очищення рекомендується виділяти анаеробні і аеробні зони у реакторі [15, 16], а також враховувати вік мулу, який залежно від процесу може змінюватись в межах 2–30 діб [17]. Наведені публікації [5–17] свідчать про важливість врахування під час контролю процесу очищення стічних вод показників активного мулу, але не розглядають питання інформативності показників, а також існування зв'язку між концентрацією фосфатів у очищеній біологічним шляхом стічній воді і вказаними показниками.

Автори деяких публікацій вважають, що можливості біологічного очищення в аеротенку недостатні для очищення від біогенних елементів і пропонують доповнення процесу реагентними методами. Так, в роботі [18] пропонується використання нанотехнологій для очищення стічних вод від фосфатів. У [19] наводяться дані щодо неповного очищення стічної води від фосфору біологічним методом і вказується, що багато факторів, зокрема доза мулу, не завжди враховані під час експлуатації очисних споруд. Визнається також, що найпоширенішим на теперішній час є біологічний метод видалення фосфору, тому що інші методи ускладнюються економічними або експлуатаційними питаннями [19].

З розглянутих публікацій видно, що недостатня увага приділена кореляції між гідробіологічними показниками і показниками стічної води, не виявлено також, який з показників є найбільш інформативним. Враховуючи певні переваги біологічного очищення

стічних вод, приходимо до висновку, що цей процес потребує додаткових досліджень, особливо щодо очищення від фосфатів.

Для поліпшення якості процесу очищення стічної води на існуючих біологічних очисних станціях ці питання мають науково-практичне значення.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження кореляції між гідробіологічними показниками процесу очищення стічних вод біологічним шляхом (кількість корисних гідробіонтів, об'єм мулу, доза мулу, муловий індекс) та концентрацією фосфатів на виході з очисної станції.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- проаналізувати результати вимірювання гідробіологічних показників, а також концентрації фосфатів у стічній воді на виході з очисних споруд ДП «Чернігівводоканал» (Україна) та виявити показники, найбільш інформативні щодо якості процесу очищення стічної води від фосфатів;

- виявити можливі тренди залежностей, що розглядаються, для практичного використання в управлінні процесом очищення.

4. Матеріали та методи дослідження

Матеріалом дослідження є результати вимірювання протягом шести місяців з січня по липень 2015 року гідробіологічних показників процесу очищення в аеротенку за допомогою активного мулу, зокрема враховувалась кількість видів гідробіонтів (N_G), характерних для задовільної роботи (ХЗР) мулу, а також, об'єм мулу (V), доза мулу (d), муловий індекс (I). В цей же час контролювалась концентрація фосфатів (C_F) у очищеній стічній воді на виході з очисних споруд ДП «Чернігівводоканал». Для отримання даних лабораторією каналізаційно-очисної станції (КОС) використовувались стандартні методики [3, 4].

Виявлення видів гідробіонтів проведено за рекомендаціями [3].

Об'єм мулу, мл/дм³ – це об'єм, який займає активний мул після відстоювання протягом 30 хвилин, віднесений до дм³ (ще називається «концентрація активного мулу за об'ємом», або «доза мулу за об'ємом»).

Доза мулу по масі (концентрація мулу), г/дм³, – це маса осаду, отриманого внаслідок фільтрування певного об'єму мулової суміші і наступного висушування. Муловий індекс, см³/г, – це об'єм, що займає 1,0 грам сухої речовини мулу та характеризує також седиментаційні властивості мулу. Дослідження кореляції між показниками проводили з використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel функції Kogel пакета аналізу. Виявлення скритих трендів проводилось із застосуванням згладжування коливань за допомогою ковзного середнього (метод SMA – simple moving average) [20]. Визначення введеного в роботу допоміжного показника зміни фаз (L) проведено за допомогою функції «Пошук рішення» пакета аналізу Microsoft Excel [21].

5. Результати дослідження кореляції гідробіологічних показників і концентрації фосфатів у очищеній стічній воді

В представленій роботі проведено дослідження парних кореляцій між концентрацією фосфатів у стічній воді на виході з КОС (з одного боку) та гідробіологічними показниками аеротенку (з іншого боку), враховано показники за ті дні, коли проводився одночасний аналіз щодо усіх розглянутих параметрів у періоді січень – липень 2015 року. Результати аналізів представлено у табл. 1.

Розрахований з використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel функції Korel пакета аналізу коефіцієнт кореляції ($K_{кор}$) між такими показниками, як муловий індекс – фосфати, кількість видів гідробіонтів ХЗР – фосфати, об'єм мулу – фосфати, доза мулу – фосфати, представлено на рис. 1.

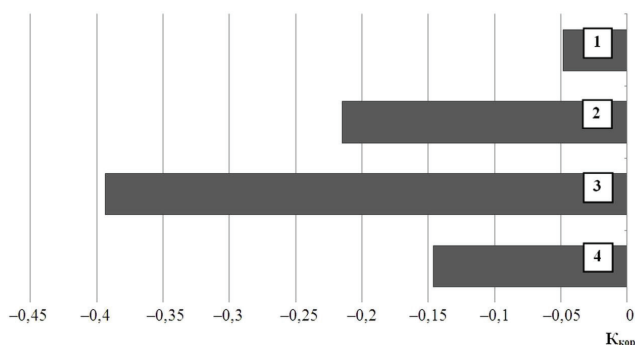


Рис. 1. Показники кореляції між концентрацією фосфатів у стічній воді після очищення в аеротенку і дозою мулу (1), об'ємом мулу (2), кількістю видів гідробіонтів, характерних для задовільної роботи мулу (3) і муловим індексом (4)

Таблиця 1

Лабораторні дані досліджених показників для визначення їх кореляції

Номер досліджу і	Кількість видів гідробіонтів ХЗР, одиниць, N_G	Доза мулу за об'ємом, $мл/дм^3, V$	Доза мулу, $г/дм^3, d$	Муловий індекс, $см^3/г, I$	Фосфати на виході $мг/дм^3, C_\Phi$
1	11	800	3.6	222	8.97
2	12	660	3	220	4.34
3	13	700	3.3	212	7.74
4	13	780	4.1	190	2.96
5	12	680	2.9	234	9.62
6	14	720	3.3	218	4.7
7	13	840	3.7	227	1.42
8	10	780	3	260	2.51
9	11	700	2.5	280	6.13
10	12	880	3.1	284	1.53
11	13	840	3.4	247	2.3
12	14	740	3.3	224	4.48
13	13	700	3	233	2.48
14	10	740	3.7	200	6.77
15	15	500	2.5	200	2.04
16	14	800	3.6	222	1.89

Зв'язки між концентрацією фосфатів з одного боку і муловим індексом, кількістю видів гідробіонтів ХЗР, об'ємом мулу та дозою мулу з іншого боку, належать до зворотної кореляції з наступними $K_{кор}$:

- «муловий індекс – фосфати» забезпечують $K_{кор} = -0,14638$;
- «кількість видів гідробіонтів ХЗР – фосфати» $K_{кор} = -0,39381$;
- «об'єм мулу – фосфати» $K_{кор} = -0,21502$;
- «доза мулу – фосфати» $K_{кор} = -0,0485$.

Отримані дані свідчать, що серед розглянутих показників найбільш інформативний – кількість видів гідробіонтів ХЗР.

При дослідженні динаміки одночасної зміни кількості видів гідробіонтів ХЗР та концентрації фосфатів у очищеній стічній воді враховувались наступні види: амеби (Arcella, Euglupha), коловратки (Rotaria, Colurella, Frichocerca, Monostilla), інфузорії (Thuricolla, Vorticella, Epistylis, Lionotus, Oxitricha, Opercularia, Chilodonella, Acineta), Zooglea – бактерії та слиз, раковинна кореневишка (Centropuxis), Chidonotus, Tardigrada. До гідробіонтів, які характеризують незадовільну роботу мулу, відносили виявлених у активному мулі аеротенку таких представників – дрібні джгутикові, нитчасті бактерії, Peranema – евгленові джгутикові, Nematoda, коловратки замерлі.

Динаміка одночасної зміни кількості видів гідробіонтів ХЗР та концентрації фосфатів у очищеній стічній воді, представлена на рис. 2, а, виявляє, що процес зміни концентрації фосфатів іде у протифазі з кількістю видів гідробіонтів. Для поліпшення наочності процесу змінимо фазу коливань, для чого в роботі пропонується замінити показник кількості видів гідробіонтів (N_G) на показник модифікованої кількості видів гідробіонтів ($N_{мод}$):

$$N_{мод} = L - N_G, \tag{1}$$

де L – допоміжний показник зміни фази, який розраховано з урахуванням концентрації фосфатів і кількості видів гідробіонтів. Так, вибір допоміжного показника зміни фаз здійснювали з урахуванням необхідності мінімальної відстані між функцією концентрації фосфатів і функцією кількості видів гідробіонтів ХЗР:

$$\sum_{i=1}^{26} (L - N_{G(i)} - C_{\Phi(i)})^2 = \min, \tag{2}$$

де $N_{G(i)}$ – кількість видів гідробіонтів ХЗР у i – досліді, C_{Φ} – вихідна концентрація фосфатів; i – номер досліджу, $i=1,2,...,26$.

Визначення допоміжного показника зміни фаз L проведено за допомогою функції «Пошук рішення» пакета аналізу Microsoft Excel [21], отримане значення $L=16,095$ забезпечує мінімальну суму співвідношень між концентрацією фосфатів і модифікованою кількістю видів гідробіонтів. Деякі результати обчислень цього показника подані в табл. 2 у стовбцях 4, 5.

Сума четвертої колонки $\sum=153,872875$ є мінімальною, в той час як менше значення допоміжного показника, наприклад $L=16,0$, забезпечує суму $\sum=154,1075$, і більше значення показника, наприклад представлене у п'ятій колонці $L=16,2$, теж забезпечує зростання суми

до $\Sigma=154,1595$. Значення допоміжного показника зміни фази $L=16,095$ забезпечує виконання рівняння (2). Використовуючи «Пошук рішення» зближуємо різницю між значеннями модифікованої кількості видів гідробіонтів та концентрації фосфатів на одному і тому ж графіку.

Результати аналізу щодо динаміки зміни концентрації фосфатів і модифікованої кількості видів гідробіонтів ХЗР представлено на рис. 2, б. Результати, представлені на рис. 2, б, свідчать, що зміна концентрації фосфатів відбувається значною мірою синхронно зі зміною кількості видів гідробіонтів ХЗР.

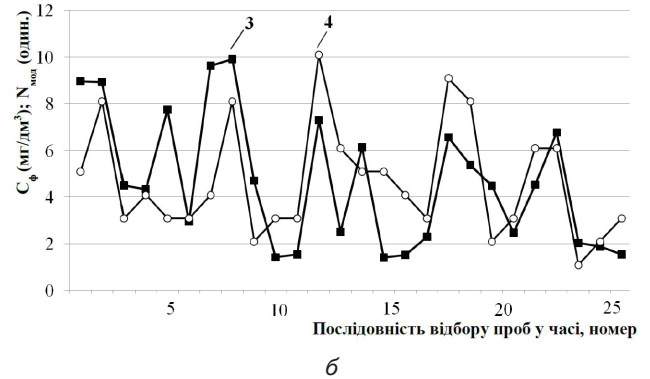
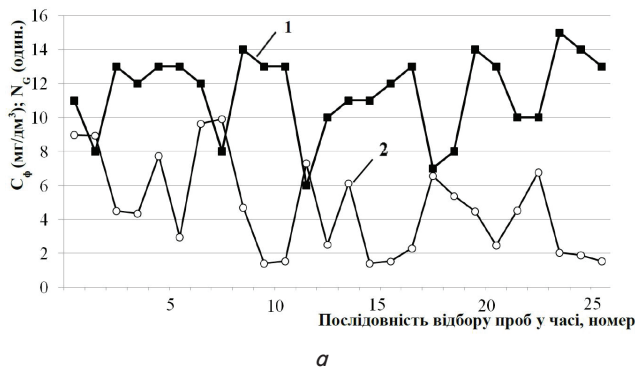


Рис. 2. Динаміка зміни показників концентрації фосфатів і кількості гідробіонтів у очищеній стічній воді:
 а – залежність концентрації фосфатів від кількості у аеротенку видів гідробіонтів, характерних для задовільної роботи мулу;
 б – залежність концентрації фосфатів від модифікованої кількості видів гідробіонтів у аеротенку; 1 – кількість видів гідробіонтів ХЗР; 2, 3 – концентрація фосфатів; 4 – модифікована кількість видів гідробіонтів ХЗР

Таблиця 2

Розрахунок модифікованої кількості гідробіонтів $N_{\text{мод}}$

Номер досліді і	Кількість видів гідробіонтів ХЗР, N_G	Вихідна концентрація фосфатів, $C_{\text{ф}}$	$(L - N_{G(1)} - C_{\text{ф}(1)})^2$ для $L=16,095$	$(L - N_{G(1)} - C_{\text{ф}(1)})^2$ для $L=16,2$	$N_{\text{мод}} = L - N_G$, для $L=16,095$
1	11	8.97	15.01563	14.2129	5.095
2	8	8.93	0.697225	0.5329	8.095
3	13	4.5	1.974025	1.69	3.095
4	12	4.34	0.060025	0.0196	4.095
5	13	7.74	21.57603	20.6116	3.095
6	13	2.96	0.018225	0.0576	3.095
7	12	9.62	30.52563	29.3764	4.095
8	8	9.91	3.294225	2.9241	8.095
9	14	4.7	6.786025	6.25	2.095
10	13	1.42	2.805625	3.1684	3.095
11	13	1.54	2.418025	2.7556	3.095
12	6	7.3	7.812025	8.41	10.095
13	10	2.51	12.85223	13.6161	6.095
14	11	6.13	1.071225	0.8649	5.095
15	11	1.41	13.57923	14.3641	5.095
16	12	1.53	6.579225	7.1289	4.095
17	13	2.3	0.632025	0.81	3.095
18	7	6.56	6.426225	6.9696	9.095
19	8	5.37	7.425625	8.0089	8.095
20	14	4.48	5.688225	5.1984	2.095
21	13	2.48	0.378225	0.5184	3.095
22	10	4.53	2.449225	2.7889	6.095
23	10	6.77	0.455625	0.3249	6.095
24	15	2.04	0.893025	0.7056	1.095
25	14	1.89	0.042025	0.0961	2.095
26	13	1.54	2.418025	2.7556	3.095

В зв'язку з тим, що коливання випускної концентрації фосфатів дещо маскує зв'язок між зміною випускної концентрації фосфатів та кількістю видів гідробіонтів ХЗР, для більшої наочності і виявлення тренду застосовуємо програму згладжування коливань за допомогою функції ковзного середнього (SMA) з пакету аналізу Microsoft Excel. Результати роботи програми приведені в табл. 3.

Отримані результати дослідження показані на рис. 3, за допомогою якого можна виявити певний тренд.

Як видно з графіку, представленого на рис. 3, прослідковується вплив сезону пори року на кількість гідробіонтів ХЗР та концентрацію фосфатів у очищеній стічній воді, бо починаючи з березня обчислена за SMA концентрація фосфатів у випускній воді не перевищує встановлену норму.

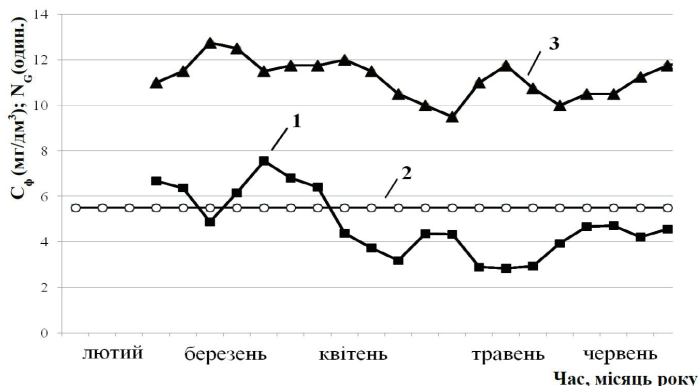


Рис. 3. Динаміка зміни концентрації фосфатів у очищеній біологічним шляхом стічній воді та кількості видів гідробіонтів ХЗР за період вимірювання з використанням SMA: 1 – концентрація фосфатів; 2 – гранично допустима концентрація фосфатів у очищеній стічній воді; 3 – кількість видів гідробіонтів ХЗР

Таблиця 3

Результати обчислення SMA (арифметичного ковзного середнього) по чотирьох точках для кількості видів гідробіонтів ХЗР і вихідної концентрації фосфатів

№ дослід. і	N_G , одиниць	C_{ϕ} , мг/дм ³	SMA кількості видів гідробіонтів, N_G , одиниць	SMA концентрації фосфатів C_{ϕ} , мг/дм ³
1	11	8.97	–	–
2	8	8.93	–	–
3	13	4.5	–	–
4	12	4.34	11	6.685
5	13	7.74	11.5	6.3775
6	13	2.96	12.75	4.885
7	12	9.62	12.5	6.165
8	8	9.91	11.5	7.5575
9	14	4.7	11.75	6.7975
10	13	1.42	11.75	6.4125
11	13	1.54	12	4.3925
12	6	7.3	11.5	3.74
13	10	2.51	10.5	3.1925
14	11	6.13	10	4.37
15	11	1.41	9.5	4.3375
16	12	1.53	11	2.895
17	13	2.3	11.75	2.8425
18	7	6.56	10.75	2.95
19	8	5.37	10	3.94
20	14	4.48	10.5	4.6775
21	13	2.48	10.5	4.7225
22	10	4.53	11.25	4.215
23	10	6.77	11.75	4.565
24	15	2.04	12	3.955
25	14	1.89	12.25	3.8075
26	13	1.54	13	3.06

6. Обговорення результатів дослідження кореляції гідробіологічних показників і концентрації фосфатів у очищеній стічній воді

Перевагою проведеного дослідження є те, що отримано кількісні дані щодо існування зв'язку між концентрацією фосфатів у очищеній біологічним шляхом стічній воді і такими показниками, як «кількість видів гідробіонтів ХЗР», «об'єм мулу», «муловий індекс», «доза мулу».

З проведеного аналізу виявлено характер кореляції – негативна кореляція, тобто збільшення дослідженого показника зменшує концентрацію фосфатів. Інформативність показників щодо якості процесу очищення стічної води від фосфатів зменшується у ряду: кількість видів гідробіонтів ХЗР – об'єм мулу – муловий індекс – доза мулу. Також виявлено, що зміна концентрації фосфатів у очищеній біологічним шляхом стічній воді відбувається значною мірою синхронно у протифазі зі зміною кількості видів гідробіонтів ХЗР.

Значення коефіцієнта кореляції свідчить про те, що процес очищення достатньо складний, але використання отриманих в результаті дослідження даних дозволяє надати перевагу під час аналізу процесу очищення одному чи деяким показникам, які мають найбільшу інформативність. Для розвитку представлених результатів може бути корисним подальша побудова карт Шухарта або інших матеріалів, що сприятимуть візуалізації результатів і оперативному контролю за процесом очищення.

Проведена робота продовжує напрям розробки оперативних методів контролю процесу очищення стічних вод, представлений у [5–7].

7. Висновки

1. Проаналізовано показники концентрації фосфатів у очищеній стічній воді на виході з очисної станції протягом шести місяців і виявлено їх кореляцію з показниками «кількість корисних гідробіонтів», «об'єм мулу», «доза мулу», «муловий індекс».

2. Розраховано, що коефіцієнти кореляції між концентрацією фосфатів у очищеній біологічним шляхом

стічній воді і гідробіологічними показниками (кількість видів гідробіонтів, характерних для задовільної роботи мулу, об'єм мулу, муловий індекс, доза мулу) мають негативний характер і змінюються від $K_{кор.} = -0,39381$ до $K_{кор.} = -0,0485$.

3. Найбільшу інформативність щодо якості процесу очищення стічної води від фосфатів серед розглянутих гідробіологічних показників виявляє кількість видів гідробіонтів ХЗР, що має коефіцієнт кореляції $K_{кор.} = -0,39381$, а також показник «об'єм мулу» з коефіцієнтом кореляції $K_{кор.} = -0,21502$.

4. Виявлено тренди залежностей, можливих для практичного використання в управлінні процесом очищення:

– зміна концентрації фосфатів у очищеній біологічним шляхом стічній воді відбувається у великій мірі синхронно у протифазі зі зміною кількості видів гідробіонтів, характерних для задовільної роботи мулу;

– існує негативний вплив зимової пори року на кількість гідробіонтів ХЗР та концентрацію фосфатів у очищеній стічній воді, що може бути пов'язано із температурою стічних вод.

Література

1. Проценко, С. Б. Сучасний стан та задачі систем водовідведення в малих населених пунктах України [Текст] / С. Б. Проценко, А. М. Гіроль // Водопостачання та водовідведення. – 2014. – № 4. – С. 14–27.
2. Шатохіна, Ю. В. Якість процесу очищення стічних вод як функція складу вхідного потоку [Текст] / Ю. В. Шатохіна, Л. М. Клінцов, О. М. Шкінь, Н. С. Мазюк // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 1, № 1 (9). – С. 36–39. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/12179/10067>
3. РНД 31 – 05 – 2007. Методичні рекомендації з виконання гідробіологічного аналізу активного мулу аеротенків [Текст]. – Міністерство з питань житлово – комунального господарства України, 2007. – 14 с.
4. Почкайлова, Л. П. Чинні національні стандарти в галузі водопостачання, водовідведення та якості води відповідно до каталогу нормативних документів – 2010 [Текст] / Л. П. Почкайлова, В. Кожедуб // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 3. – С. 59–72.
5. Шатохіна, Ю. Забезпечення контролю якості стічних вод [Текст] / Ю. Шатохіна // Метрологія та прилади. – 2015. – № 5 (55). – С. 67–71.
6. Shatokhina, J. Features of control of wastewater [Text] / J. Shatokhina, A. Kovalev // Collection of international Scientific papers «UKRAINE – EU. MODERN TECHNOLOGY BUSINESS AND LAW», part 2, 2015. – P. 37–39.
7. Шатохіна, Ю. Контроль функціонування аеротенку за фізичними показниками нитчастих бактерій [Текст] / Ю. Шатохіна // Метрологія та прилади. – 2013. – № 2 (40). – С. 60–63.
8. Zhang, Z. Improvement strategy on enhanced biological phosphorus removal for municipal wastewater treatment plants: Full-scale operating parameters, sludge activities, and microbial features [Text] / Z. Zhang, H. Li, J. Zhu, L. Weiping, X. Xin // Bioresource Technology. – 2011. – Vol. 102, Issue 7. – P. 4646–4653. doi: 10.1016/j.biortech.2011.01.017
9. Dushko, A. Y. The influence of precursor concentration on TiO₂ composition and structure [Text]: матер. III Міжн. наук.-прак. конф. / А. Y. Dushko, Т. А. Dontsova // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти, 2015. – С. 16–18.
10. Wang, P. Detailed comparison of bacterial communities during seasonal sludge bulking in a municipal wastewater treatment plant [Text] / P. Wang, Z. Yu, R. Qi, H. Zhang // Water Research. – 2015. – Vol. 105. – P. 157–166. doi: 10.1016/j.watres.2016.08.050
11. Козар, М. Ю. Поєднання різних біологічних методів видалення сполук фосфору для підвищення ефективності очищення стічної води [Текст]: матер. III Міжн. наук.-прак. конф. / М. Ю. Козар // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти, 2015. – С. 102–103.
12. Юрченко, В. А. Использование микроскопирования для оценки экологически значимых характеристик различных микробиоценозов [Текст] / В. А. Юрченко, Я. С. Дяговец, Е. С. Хромикова, А. С. Остапова // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2010. – № 52. – С. 60–65.
13. Петрова, Е. Э. Обоснование структурной схемы электронной системы контроля илового индекса в аэротенке [Электронный ресурс]: сб. Интернет-конф. / Е. Э. Петрова, В. П. Тарасюк // Информационные и управляющие системы в промышленности, экономике и экологии», 2011. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2012/fkita/petrova/library/article5.htm>
14. Іванова, І. М. Технологічні параметри роботи очисних споруд в умовах нитчастого спухання активного мулу в аеротенках [Текст] / І. М. Іванова, Н. І. Остряньська // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2012. – Вип. 20. – С. 150–159.
15. Саблій, Л. А. Нові технології біологічного очищення господарсько – побутових і виробничих стічних вод [Текст] / Л. А. Саблій, Є. В. Кузьминський, В. С. Жукова, М. Ю. Козар // Водопостачання та водовідведення. – 2014. – № 3. – С. 24–33.
16. Щетинин, А. И. Опыт реконструкции очистных сооружений с применением технологии нитро – денитрификации [Текст] / А. И. Щетинин, Ю. М. Мешенгиссер, М. А. Есин, Б. Ю. Малбиев, А. А. Реготун // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 3. – С. 41–49.
17. Kim, M. Phosphate recovery from livestock wastewater using iron oxide nanotubes [Text] / M. Kim, K. Park, J. M. Kim // Chemical Engineering Research and Design. – 2016. – Vol. 114. – P. 119–128. doi: 10.1016/j.cherd.2016.06.016
18. Третьяков, О. В. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону (Україна) [Текст] / О. В. Третьяков, Т. О. Шевченко, В. Л. Безсонний // Схфдно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 5, № 10 (77). – С. 40–49. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51398
19. Гець, В. М. Моделі і методи соціально – економічного прогнозування [Текст]: підручник / В. М. Гець, Т. С. Клебанова, О. І. Черняк, В. В. Іванов, Н. А. Дубровіна, А. В. Ставицький. – Ч.: ВД «ІНЖЕК», 2005. – С. 108–109.
20. Мельников, П. П. Компьютерные технологии в экономике [Текст]: уч. пос. / П. П. Мельников. – М.: КНОРУС, 2009. – 224 с.