

ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 628.356

<https://doi.org/10.31713/vt120221>

Ковальчук В. А., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, kvant56@ukr.net)

РЕКОНСТРУКЦІЯ МІСЬКИХ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

Очистка стічних вод міста Чортків здійснювалася за розробленою ще в 60-і роки минулого століття технологічною схемою із застосуванням двоярусних відстійників і біофільтрів. Очисні споруди не забезпечували необхідний ступінь очистки стічних вод, особливо з урахуванням сучасних вимог до якості очистки за біогенними елементами. В 2017 році рівненська фірма «Комфорт-Еко» у співпраці з НУВГП приступила до розробки проєкту реконструкції зазначених очисних споруд. В основу проєкту була покладена технологія, що ґрунтується на модифікованому процесі Людчака – Етінгера з попередньою денітрифікацією для забезпечення видалення сполук азоту. Видалення фосфатів передбачалося здійснити із застосуванням реагентів. Передбачалося максимально використати для очистки стічних вод вже існуючі споруди. Реконструкція очисних споруд розпочалася у вересні 2018 року, нині завершуються пусконаладжувальні роботи.

Ключові слова: міські стічні води; міські каналізаційні очисні споруди; біологічна очистка стічних вод; нітрифікація-денітрифікація; комбіновані аеротенки.

Постановка проблеми. Технологічна схема із двоярусними відстійниками і біофільтрами була у свій час базовою для очистки стічних вод невеликих населених пунктів [1]. Двоярусні відстійники забезпечують первинне відстоювання стічних вод і одночасне зброджування у психрофільних умовах суміші осадів – того, який утворюється власне в процесі відстоювання, а також надлишкової біологічної плівки, яка утворюється у процесі біологічної очистки стічних вод на біофільтрах. Однак двоярусним відстійникам властиві значні недоліки, а саме: необхідність розміщення споруд в опалюваних будівлях у районах із низькими зимовими

температурами; можливість зменшення до 30% ефекту освітлення стічних вод через проникання в жолоби газів бродіння і частинок збродженого осаду; можливість забивання щілин у жолобах «зверху» при високій концентрації завислих речовин у стічних водах; можливість забивання щілин жолобів «знизу» кіркою, що утворюється на поверхні; ущільнення осаду в нижній частині мулової камери до вологості 85%, при якій процеси зброджування значно уповільнюються. Крім цього, тривала експлуатація двоярусних відстійників супроводжується руйнуванням бетону і корозією арматури.

Руйнування бетону і корозія арматури характерні також і залізобетонних конструкцій біофільтрів. Корозія і, як наслідок, незадовільна робота дозувальних пристроїв стічних вод біофільтрів є причиною замулення їх завантаження. Внаслідок цього погіршується ефективність власне біологічної очистки стічних вод.

Станом на 2016 рік очистка стічних вод на очисних спорудах міста Чортків була вкрай незадовільною. Зокрема, ХПК очищених стічних вод становила 531 мг O_2 /дм³, БПК₅ – 216 мг O_2 /дм³, завислі речовини – 115 мг/дм³, азот амонійний – 14,5 мг/дм³, нітроти – 0,44 мг/дм³, нітрати – 1,89 мг/дм³, фосфати – 4,88 мг/дм³, рН – 7,18.

Конструктивні недоліки і зношеність не були, однак, головними причинами необхідності реконструкції очисних споруд міста Чортків. В 2013 році у дію були введені нові ДБН В.2.5-75:2013 [2], які вимагають застосування принципово нових технологічних схем очистки стічних вод, що забезпечуватимуть не лише вилучення із стічних вод органічних забруднень, але також сполук азоту і фосфору. Так, в п. 10.1.12 вказується, що «при еквівалентній чисельності понад 500 жителів слід проектувати також біологічне очищення від сполук азоту. У проєкті також має визначатися необхідність і технологія очистки стічних вод від сполук фосфору». Навіть якщо допустити, що очисні споруди міста Чортків працюватимуть задовільно, то біофільтри, у кращому випадку, забезпечуватимуть лише нітрифікацію амонійного азоту без денітрифікації. Може відбуватися лише незначна дефосфатація за рахунок часткового включення фосфатів у біоплівку. Таким чином, існуюча до реконструкції очисних споруд технологічна схема в принципі не може забезпечити необхідний ступінь очистки стічних вод від органічних речовин і біогенних елементів.

Для біологічної очистки стічних вод із видаленням сполук азоту

ДБН (п. 3.2.3 [2]) рекомендується використовувати споруди типу аеротенків із біологічною нітрифікацією-денітрифікацією. Вибір конкретної технології біологічного видалення сполук азоту являє собою складне технологічне і техніко-економічне завдання. Насамперед прийнята технологічна схема видалення сполук азоту залежить від показників якості очищуваних стічних вод, необхідного ступеня очистки стічних вод та їх витрати тощо.

Визначене на початку розрахунків значення показника денітрифікації для відстояних стічних вод, яке виявилось меншим від 0,15, вказало на можливість застосування первинного освітлення стічних вод [3]. Для цього в технологічній схемі було передбачено використання після відповідного ремонту існуючих двоярусних відстійників.

Серед наведених у ДБН рекомендованих технологічних схем нітрифікації-денітрифікації до застосування при реконструкції очисних споруд було прийнято схему із попередньою денітрифікацією – схему модифікованого процесу Людчака –Етінгера (рис. 1).

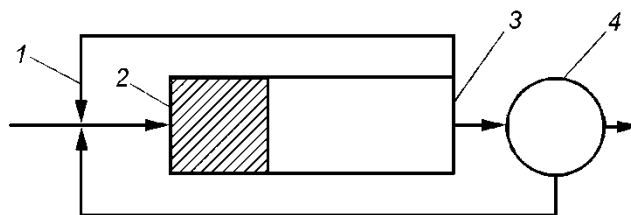


Рис. 1. Схема модифікованого процесу Людчака – Етінгера з попередньою денітрифікацією [1]:

1 – внутрішня рециркуляція; 2 – денітрифікатор; 3 – аеротенк-нітрифікатор; 4 – вторинний відстійник

Технологічна схема модифікованого процесу Людчака – Етінгера з попередньою денітрифікацією складається з послідовно розміщених аноксидної (денітрифікатор) і аеробної (аеротенк-нітрифікатор) зон та вторинного відстійника. Попереднє змішування рециркуляційного активного мулу із стічними водами в аноксидних умовах робить можливим використання органічних речовин стічних вод як субстрату при денітрифікації. Однак у рециркуляційному активному мулі міститься лише незначна частина від усього

нітрифікованого азоту, а значить ефективність денітрифікації буде невисокою. Для збільшення її ефективності влаштовують так звану внутрішню рециркуляцію, яка полягає в поверненні мулової суміші з кінця нітрифікатора на початок денітрифікатора. Однак достатня ефективність вилучення азоту із стічних вод при цьому може досягатися лише при досить високому ступеню внутрішньої рециркуляції, яка може становити навіть 200–400% і є причиною високих експлуатаційних витрат.

На користь застосування модифікованого процесу Людчака – Етінгера говорить ефективно і успішно його застосування протягом більш ніж 40 років на очисних спорудах Західної Європи. Крім цього, схема відносно проста і надійна в експлуатації.

Видалення сполук фосфору при застосуванні модифікованого процесу Людчака – Етінгера здійснюють шляхом їх хімічного осадження сульфатом дво- або тривалентного заліза чи сульфатом алюмінію. Відповідний реагент може вводитися в стічні води перед первинними відстійниками, перед або безпосередньо в аеротенки, перед аеротенками, у потік рециркуляційного активного мулу. Однак, реагентне осадження фосфатів призводить до збільшення приросту активного мулу і його зольності, що необхідно враховувати у розрахунках.

Таким чином, запропонована технологія реконструкції очисних споруд міста Чортків продуктивністю 7000 м³/добу передбачає встановлення нових решіток, ремонт існуючих горизонтальних піскоуловлювачів з круговим рухом рідини і двоярусних відстійників. Три існуючі біофільтри діаметром 18 м підлягають знесенню. Натомість мають бути збудовані аеротенки з попередньою нітрифікацією-денітрифікацією, розрахунок яких здійснювали за німецькими нормами ATV-131 [4]. Існуючі вторинні відстійники і контактні резервуари мають бути відремонтовані. Зброджування надлишкового активного мулу буде здійснюватися в двоярусних відстійниках, а його зневоднення – на відремонтованих мулових майданчиках [5].

Метою роботи є аналіз результатів практичного застосування нової для вітчизняних умов технології очистки міських стічних вод від органічних забруднень, а також сполук азоту і фосфору, що дозволить уточнити параметри і на основі їх аналізу підвищити ефективність застосування цієї технології для реконструкції діючих і проєктування нових очисних споруд.

Результати досліджень. Фірма «Комфорт-Еко» приступила до

виконання будівельних робіт з модернізації очисних споруд міста Чортків у вересні 2018 року. Головною проблемою при цьому стали підготовчі роботи, а саме – знесення трьох існуючих біофільтрів діаметром 18 м кожен (рис. 2, 3).

Слід підкреслити, що при реконструкції очисних споруд міста Чортків застосовувалися як передові технології будівельного виробництва (рис. 4), так і сучасне обладнання (рис. 5).



Рис. 2. Вивантаження завантаження і демонтаж дренажу біофільтра



Рис. 3. Демонтаж стін біофільтра



Рис. 4. Підготовка основи під комбіновані аеротенки



Рис. 5. Повітрорудна станція

Головним елементом реконструйованих очисних споруд є

комбіновані аеротенки, які влаштовуються на базі двох секцій чотирикоридорних аеротенків шириною коридору 4,5 м, глибиною 4,4 м і довжиною 30 м. Два перших по ходу рідини коридори аеротенків використовуються як денітрифікатори, два останні коридори обладнані системою аерації. У кожному денітрифікаторі встановлюються електромеханічні мішалки для перемішування мулової суміші. На початок денітрифікаторів подається рециркуляційний активний мул із вторинних відстійників, а також перекачується мулова суміш із кінця останнього коридору зони аерації, яка містить нітриту і нітрати. При відсутності аерації у денітрифікаторах має місце аноксидний режим, при якому відбувається процес денітрифікації – відновлення нітритів і нітратів з виділенням молекулярного азоту. В наступних аерованих коридорах аеротенків відбувається окислення органічних забруднень стічних вод і нітрифікація амонійного азоту. Для визначення концентрації розчиненого кисню в коридорах аеротенків встановлені спеціальні датчики. Подача повітря в аеровану зону аеротенків здійснюється за допомогою системи пневматичної аерації, до складу якої входять повітродувки, повітропроводи та трубчасті аератори Jager TD 63/2100 для дрібнобульбашкової аерації.

Запуск аеротенків у роботу (рис. 6) здійснювався за допомогою «затравкового» мулу із найближчих працюючих каналізаційних очисних споруд.



Рис. 6. Аеротенки очисних споруд міста Чортків

В міру збільшення дози мулу внаслідок його приросту ефективність біологічної очистки і роботи комплексу очисних споруд зростала (таблиця). За більшістю нормованих показників були досягнуті концентрації, які не перевищують ГДК.

Таблиця

Результати очистки стічних вод на очисних спорудах міста Чортків

Показники забруднень	Концентрації забруднень стічних вод				ГДК
	неочищених	очищених проб №			
		1	2	3	
рН	7,8–7,95	7,40	6,8	7,5	6,5–8,5
Завислі речовини, мг/дм ³	182–196	13,0	5,0	5,4	15
ХПК, мг/дм ³	589–740	78,3	42,1	53,5	80
БПК ₅ , мг/дм ³	372–477	14,4	19,0	14,2	15
Азот амонійний, мг/дм ³	72–111,9	1,2	0,82	1,29	2,13
Нітрати, мг/дм ³	3,1–12,8	2,5	35,0	14,1	40
Фосфати, мг/дм ³	17,8–50,8	8,2	25,8	0,5	4,0

Середня ефективність очистки стічних вод, досягнута під час виконання пусконаладжувальних робіт, склала 95,8% – за завислими речовинами, 91,3% – за ХПК, 96,3% – за БПК₅, 98,8 – азотом амонійним, 66,0% – за фосфатами.

На даному етапі відбуваються роботи зі зменшення в очищених стічних водах концентрацій фосфатів. Вирішення цього завдання передбачається здійснювати шляхом дозування на початок денітрифікатора розчину сульфату заліза (II). Залізо утворює із фосфатами слабозчинну сполуку, яка надалі асимілюється активним мулом і виводиться разом із його надлишком. Приготування розчину сульфату заліза здійснюється у розчинному та витратному баках, а його дозування – насосом дозатором.

Висновки. Застарілість технологічної схеми, конструктивні недоліки і зношеність є головними причинами незадовільної роботи каналізаційних очисних споруд міста Чортків. Окрім цього, очисні споруди не можуть забезпечити дотримання нових вимог до якості

очищених стічних вод за сполуками азоту і фосфору. Прийняте рішення здійснити реконструкцію очисних споруд, застосувавши технологічну схему з використанням комбінованих аеротенків із нітрифікацією-денітрифікацією і реагентною дефосфатацією стічних вод. Після закінчення робіт з реконструкції на очисних спорудах розпочаті пуско-налагоджувальні роботи. Отримані попередні результати, які підтверджують високу ефективність застосовуваної схеми Людчака – Етінгера. Середня ефективність очистки стічних вод, досягнута під час виконання пусконалагоджувальних робіт, склала 95,8% за завислими речовинами, 91,3% – за ХПК, 96,3% – за БПК₅, 98,8% – азотом амонійним, 66,% – за фосфатами. Здійснюється аналіз технологічних показників роботи очисних споруд, відпрацювання особливостей реагентного видалення фосфатів зі стічних вод.

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с. **2.** ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі і споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України. 2013. 128 с. **3.** Ковальчук В. А. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Сучасні технології вилучення сполук азоту та фосфору із стічних вод» для здобувачів вищої освіти другого магістерського рівня усіх освітньо-професійних програм спеціальностей НУВГП денної форми навчання. Рівне : НУВГП, 2019. 22 с. **4.** ATV-DVWK Standard A 131E. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. 2000. 57 p. **5.** S. Martynov, O. Kvarntenko, V. Kovalchuk, A. Orlova. Modern trends at natural and wastewater treatment plants reconstruction 2020. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. P. 012083. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012083>. (дата звернення: 15.03.2022).

REFERENCES:

1. Kovalchuk V. A. Ochyistka stichnykh vod : navch. posib. Rivne : VAT «Rivnenska drukarnia», 2003. 622 s. **2.** DBN V.2.5-75:2013. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi i sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia. Kyiv : Minrehion Ukrainy. 2013. 128 s. **3.** Kovalchuk V. A. Metodychni vkazivky do provedennia praktychnykh zaniat ta vykonannia samostiinoi roboty z navchalnoi dystsypliny «Suchasni tekhnolohii vyluchennia spoluk azotu ta fosforu iz stichnykh vod» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity druhoho mahisterskoho rivnia usikh osvitno-profesiinykh program spetsialnostei NUVHP dennoi formy navchannia. Rivne : NUVHP, 2019. 22 s. **4.** ATV-DVWK Standard A 131E. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. 2000. 57 p. **5.** S. Martynov, O. Kvarntenko, V. Kovalchuk, A. Orlova. Modern trends at

natural and wastewater treatment plants reconstruction 2020. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. P. 012083. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012083>. (data zvernennia: 15.03.2022).

Kovalchuk V. A., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANT RECONSTRUCTION

Chortkiv WWTP was carried out according to the technology developed in the 60s of the last century. The WWTP included gratings, sand traps, Imhoff settling tanks, biofilters, secondary settling tanks, contact tanks, sand and silt sites. WWTP did not provide the required degree of wastewater treatment, especially given the current requirements for the nutrients concentrations. In February 2017, the Rivne company "Comfort-Eco" in cooperation with NUWEE began to develop a project to modernize the Chortkiv WWTP with a capacity of 7000 m³/day. The project was based on a modified Ludczak – Ettinger process with preliminary denitrification to ensure the removal of nitrogen compounds. Removal of phosphates was supposed to be carried out with the use of chemical reagents. The calculation of biological WWTP was carried out according to German standards ATV-131. It was planned to make maximum use of existing facilities for wastewater treatment. The company "Comfort-Eco" began construction work on Chortkiv WWTP modernization in May 2018. The main problem was the preparatory work – namely the demolition of three existing biofilters. Two bioreactors with secondary settling tanks, an air blower station, and equipment installation were built. Currently, commissioning works are being completed at the Chortkiv WWTP. The quality indicators of treated wastewater for BOD₅ and ammonium nitrogen already meet the requirements, phosphates – close to the design.

Keywords: municipal wastewater; municipal wastewater treatment plants; biological wastewater treatment; nitrification-denitrification; combined aeration tanks.
