

О. М. Швед, В. П. НовіковНаціональний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології біологічно активних сполук,
фармації та біотехнології

БІОТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД НЕВЕЛИКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ У БІОІНЖЕНЕРНИХ СТАВКАХ

© Швед О. М., Новіков В. П., 2015

Розроблено проект комплексної схеми каналізаційних очисних споруд на основі біоінженерних ставків (*англ. Constructed wetlands*) для очищення побутових стічних вод. Як пілотний об'єкт, що потребує каналізування, обрано місто Глиняни (Львівська обл.). Запропонована технологічна схема містить секції механічного очищення та біологічного очищення. Запропоновано використовувати біоінженерні ставки горизонтального типу з підповерхневим потоком води. Для інтенсифікації усунення азоту передбачено інокулювання системи культурою анамокс бактерій.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, біоінженерні ставки, азот, анамокс.

The complex scheme of wastewater treatment plant based on constructed wetlands for treatment of domestic sewage was designed. The town Hlyniany (Lviv Oblast) was selected as a pilot area for the construction of wastewater treatment plant. The proposed technological scheme includes mechanical and biological treatment steps. Horizontal subsurface flow constructed wetlands were used in the scheme. Inoculation of the system with enriched culture of anammox bacteria was provided in order to improve nitrogen removal.

Keywords: wastewater, biological treatment, constructed wetlands, nitrogen, anammox.

Постановка проблеми. Критичний стан галузі очищення стічних вод в Україні погіршує стан природних водних екосистем. Це, своєю чергою, загрожує життю та здоров'ю населення, а також негативно впливає на флору, фауну та довкілля загалом. Враховуючи сучасний стан економіки, державі потрібні нові технології в галузі водоочищення, котрі потребують мінімальних капітальних та поточних витрат, є надійними та ефективними. Особливо складна ситуація з очищенням стоків у невеликих населених пунктах. За цих умов доцільним є впровадження інновацій у сфері очищення стічних вод, а саме використання низькозатратних та енергоефективних систем очищення – біоінженерних ставків.

Аналіз досліджень та публікацій. Біоінженерні ставки (*англ. Constructed wetlands*) – це ґрунтові системи очищення стічних вод, в основу роботи яких покладено природні процеси мікробної трансформації та ремедіації забруднень вищими водними рослинами [1, 2]. Біоінженерні ставки (БС) є одними з найменш затратних систем очищення стоків, за рівнем фінансових та енергетичних потреб на їх спорудження, утримання та обслуговування. Ці системи здатні забезпечити такий самий рівень очищення, як традиційні споруди біологічного очищення [3], але є набагато простішими в обслуговуванні і не вимагають для цього висококваліфікованого персоналу. Однією з найпоширеніших у світі систем очищення стічних вод, що ґрунтуються на природних процесах, є БС із горизонтальним підповерхневим потоком (ГПП) [4]. Ці системи складаються з котловану, що покритий водонепроникним матеріалом; шару фільтрувального матеріалу (гравій,

щербинь, пісок); вищих водних рослин (ВВР) та стічних вод, що рухаються переважно у горизонтальному напрямку нижче поверхні фільтрувального шару. БС ГПП здатні видаляти органічні забруднення, завислі речовини, біогенні елементи та патогенні мікроорганізми зі стічних вод [5–7]. Технологія очищення стоків у БС є конструктивно простою та здатна забезпечити необхідний ступінь очищення за мінімальних фінансових та енергетичних затрат що робить такі системи оптимальним рішенням для очищення побутових чи промислових стічних вод за умови, що основним лімітуючим фактором є економічна складова.

Мета роботи – розробити низькозатратну та енергоефективну систему очищення господарсько-побутових стічних вод для міста Глиняни (Львівська область) на основі технології біоінженерних ставків.

Матеріали та методи досліджень. Експериментальні дослідження проводили у модельних (рис. 1) та пілотних установках біоінженерних ставків в контрольованих кліматичних умовах, що були створені у Фітотехнікумі (*Phytotechnicum*) Центру екологічних досліджень імені Гельмгольца (Лейпциг, Німеччина). На основі одержаних результатів було визначено оптимальні технологічні рішення для розроблення системи очищення господарсько-побутових стічних вод малих населених пунктів. Як основу для досліджень обрано саме біоінженерні ставки з горизонтальним підповерхневим потоком, бо вони володіють рядом переваг над двома іншими типами БС, а саме: 1) не вимагають затрати енергоресурсів на процес очищення; 2) обмежують можливий контакт людини чи тварини зі стічними водами під час очищення; 3) не викликають появи комарів; 4) кардинально знижують можливість появи неприємних запахів.



Рис. 1. Модельна установка для дослідження процесів усунення азоту в біоінженерних ставках

Модельним об'єктом для досліджень було обрано місто Глиняни, розташоване у східній частині Львівської області на берегах річки Перегноівки (притока Полтви, басейн Балтійського моря). Населення міста 3,28 тисяч осіб, площа – 10 км². Клімат помірно-континентальний. Середня температура січня становить -4,1°C, липня +18,2 °С. Середня річна кількість опадів близько 600 мм [8]. Рівень ґрунтових вод доволі високий і дорівнює 0,5–1,5 м. На території міста знаходяться кілька ставків культурно-господарського призначення.

Сьогодні централізованим водопостачанням з міської свердловини забезпечено 400 жителів Глинян (дебет свердловини 4 м³/год) [8]. Інша частина жителів використовує воду з індивідуальних

свердловин та криниць. Місто є частково каналізованим, однак каналізаційні очисні споруди розкомплектовані та не працюють. Певну частину будівель обладнано вигрібними ямами. Стічні води з іншої частини житлових будівель (насамперед багатоквартирних будинків) надходять у навколишнє середовище неочищеними, що створює загрозу життю та здоров'ю населення.

Враховуючи існуючу схему водопостачання та каналізації, переважаючий тип будівель, ландшафт, а також План розвитку міста [8], доцільним є застосування напівцентралізованої схеми водовідведення та знешкодження стічних вод. Беручи до уваги, середні норми водоспоживання ($0,2 \text{ м}^3/\text{добу}/\text{особу}$) [9], кількість жителів, які забезпечені централізованим водопостачанням, а також максимальну продуктивність міської свердловини ($96 \text{ м}^3/\text{добу}$), необхідну потужність проєктованих очисних споруд визначено на рівні $100 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Рельєф місцевості, де розташовані Глиняни, рівнинний, із загальним нахилом на північ, тому міські каналізаційні очисні споруди (КОС) пропонується розташувати на незабудованих територіях на північному-заході від міста, неподалік від річки Перегноївка (рис. 2). Для спорудження КОС потужністю $100 \text{ м}^3/\text{добу}$ необхідна площа розміром приблизно 4000 м^2 . Особливість технології в тому, що за необхідності можливо збільшити потужність системи, споруджуючи додаткові модулі біоінженерних ставків.



Рис. 2. Запропоноване місце розташування каналізаційних очисних споруд (КОС)

Неочищені побутові стоки, які надходять на очисні споруди, мають характеристики, наведені у табл. 1 (дані з [1, 3]).

Таблиця 1

Типовий склад неочищених побутових стічних вод

Параметр	Од. виміру	Середнє значення
рН	-	7,0
Завислі речовини	мг/дм ³	250
БСК ₅	мг/дм ³	200
ХСК	мг/дм ³	300
Азот амонійний (NH ₄ -N)	мг/дм ³	30
Нітрити та нітрати	мг/дм ³	<1
Загальний фосфор	мг/дм ³	8
Загальні коліформи	КУО/дм ³	10 ⁸

Спори механічного очищення дають змогу вилучати зі стічних вод крупні частинки, пісок, а також більшу частину завислих речовин (50–70 %) та органічних забруднень (25–40 %) [3], тобто стоки надходять у біоінженерні ставки уже частково очищеними. Біоінженерні ставки, своєю чергою, повинні забезпечити необхідний рівень очищення для скидання стоків у річку. Гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднювальних речовин у воді, що надходить після очищення у природні водойми культурно-побутового користування [10, 11], подано у табл. 2.

Таблиця 2

Гранично допустимий вміст забруднювальних речовин у зворотних водах

Контрольований параметр	ГДК, мг/дм ³
Завислі речовини	15,0
БСК ₅	15,0
ХСК	80,0
Азот амонійний (по N)	2,0
Нітрити (по NO ₂ ⁻)	3,3
Нітрати (по NO ₃ ⁻)	45

Враховуючи, що максимальний об'єм стоків, що надходить на очищення, становить 100 м³/добу, а також приведений середній ступінь очищення стоків на етапі механічного очищення, розрахуємо середнє добове та річне навантаження забруднювальних речовин (кг/добу) на біоінженерні ставки (табл. 3).

Таблиця 3

Середня кількість забруднювальних речовин, що надходить на очищення

Параметр	Добова кількість (на механічне очищення), кг/добу	Добова кількість (на біоінженерні ставки), кг/добу	Річна кількість (на біоінженерні ставки), кг/рік
Завислі речовини	25	10	3650
БСК ₅	20	13,5	4927,5
ХСК	30	20	7300
Азот амонійний (NH ₄ -N)	3	3	1095

Зважаючи на великий об'єм стічних вод, які підлягають очищенню, доцільно розраховувати необхідну кількість та розміри біоінженерних ставків за формулами, в основу яких покладено вхідні та вихідні концентрації забруднень у стічних водах (*P-k-C** модель), а також на основі діаграм навантаження [1].

Результати та обговорення. На основі проведених досліджень та розрахунків було спроектовано технологічну схему (рис. 3).

Механічне очищення. Перша стадія очищення полягає у проходженні стічних вод крізь механічні решітки для вилучення крупних покидьків. Зважаючи на вихідні вимоги до проекту та продуктивність очисних споруд, було обрано найпростіші за конструкцією – решітки з ручним очищенням. Запропоновано використовувати решітки з середнім ступенем очищення прозором 10 мм (рис. 3, 1). Рух води крізь решітки відбувається самопливом.

Враховуючи, що продуктивність проєктованих очисних споруд дорівнює 100 м³/добу, необхідною умовою надійної роботи споруд є встановлення піскоуловлювачів. Для очисних споруд невеликої продуктивності оптимальним є застосування вертикальних піскоуловлювачів з ручним вивантаженням піску. У розробленій схемі запропоновано вертикальний піскоуловлювач круглого (у плані) перерізу з тангенційною подачею стічних вод (рис. 3, 3). Стічні води при входженні у піскоуловлювач рухаються гвинтоподібно у висхідному напрямку, при цьому за дії відцентрової сили пісок відкидається до стінок і осідає донизу, звідки згодом вивантажується.

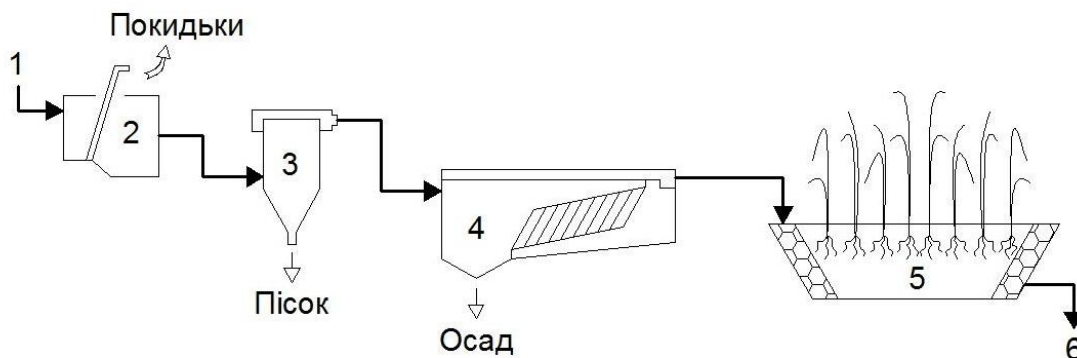


Рис. 3. Технологічна схема каналізаційних очисних споруд: 1 – стічні води; 2 – механічні решітки; 3 – вертикальний піскоуловлювач; 4 – первинний відстійник; 5 – блок з двадцяти біоінженерних ставків з горизонтальним підповерхневим потоком (1.1-5.4); 6 – очищені води, які стікають в річку

Наступним етапом очищення стічних вод є видалення завислих речовин. Найменш затратним способом їх видалення є гравітаційне відстоювання. Для цього запропоновано використання компактного та високоефективного тонкошарового первинного відстійника (рис. 3, 4).

Біологічне очищення. Кінцевим і основним етапом процесу є біологічне очищення стічних вод від розчинених органічних забруднень, патогенних мікроорганізмів та біогенних елементів у блоці біоінженерних ставків (5, рис. 3). При проектуванні та спорудженні біоінженерних ставків дуже важливо оцінити місце запланованого будівництва, адже саме навколишнє середовище створює умови для фізичних, хімічних та біологічних процесів у системі.

З метою запобігання потраплянню забруднювальних речовин у ґрунт і ґрунтові води передбачено покрити дно і стінки земляних резервуарів, в яких влаштовуються ставки, протифільтраційною полімерною плівкою. Для підвищення видової різноманітності мікроорганізмів та ефективного очищення обрано два види вищих водних рослин для насадження у біоінженерних ставках: рогіз широколистий (*Typha latifolia*) та очерет звичайний (*Phragmites australis*). Ці рослини мають одні з найкращих показників введення кисню в фільтрувальний шар ставка через свою кореневу систему. Як фільтрувальну основу ставків запропоновано використовувати гравій з діаметром частинок 4–8 мм, що дасть змогу уникнути швидкого замулювання системи і продовжити термін експлуатації споруд. У світовій практиці відомі випадки безаварійної роботи біоінженерних ставків тривалістю до 70 років [1].

Розрахована необхідна загальна площа біоінженерних ставків з горизонтальним підповерхневим потоком становить 3250 м². З метою покращення гідравлічних характеристик системи запропоновано спорудити п'ять паралельних ліній БС ГПП (рис. 4). Кожна лінія, своєю чергою, повинна складатися з чотирьох послідовно під'єднаних окремих одиниць БС. Глибина ставків має бути 0,3 м. Площа кожної одиниці БС ГПП становить 162,5 м² відповідно.

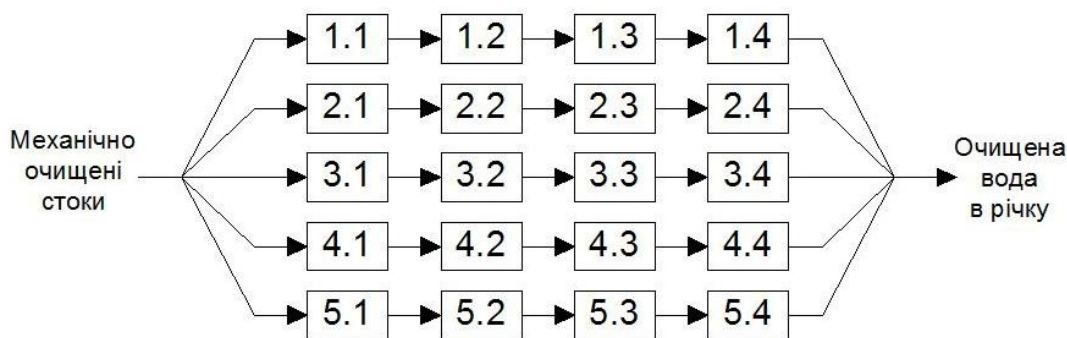


Рис. 4. План схема блоку біоінженерних ставків

Такі параметри системи БС ГПП, згідно з розрахунками, дадуть змогу ефективно усунути органічні речовини та патогенні мікроорганізми зі стічних вод, проте розрахована концентрація сполук азоту перевищує задані гранично допустимі концентрації. Це пов'язано з характерно низькими концентраціями кисню у фільтрувальній товщі БС ГПП, внаслідок чого нітрифікація амонію в даних спорудах відбувається лише частково. Для підвищення ефективності усунення азоту передбачено інокулювання частини БС збагаченою культурою анамокс бактерій, зокрема пропонується інокулювати ставки: 1.2–1.4; 2.2–2.4; 3.2–3.4; 4.2–4.4; 5.2–5.4. Таким чином інтенсифікується процес анаеробного окиснення амонію, який полягає у прямому окисненні амонію нітратами в анаеробних умовах з утворенням N_2 . Необхідність інокулювання системи спричинена тим, що в природних умовах ріст популяції анамокс бактерій відбувається надто повільно.

Висновки. Розроблено комплексну схему очищення господарсько-побутових стічних вод міста Глиняни. Запропонована технологічна схема містить секції механічного очищення (решітки, пісковловлювач, первинний відстійник) та біологічного очищення (блок біоінженерних ставків). Для підвищення ефективності усунення азоту передбачено інокулювання системи збагаченою біомасою анамокс бактерій. Використання біоінженерних ставків знижує затрати енергетичних та матеріальних ресурсів на спорудження та функціонування очисних споруд.

1. Kadlec R. H. *Treatment wetlands* / R. H. Kadlec, S. D. Wallace [2-е вид.]. – Boca Raton, FL.: CRC Press, 2009. – 1016 с.
2. Vymazal J. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review* / J. Vymazal // *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference*. – 2008. – С. 965–980.
3. Ковальчук В. А. *Очистка стічних вод* / В. А. Ковальчук. – Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня”, 2002. – 622 с.
4. *Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review* / J. García, D. P. L. Rousseau, J. Morató [та ін.] // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* – 2010. – Т. 40, № 7. – С. 561–661.
5. Vymazal J. *Removal of Nitrogen in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow: A Review* / J. Vymazal i L. Kröpfelová // *Wetlands*. – 2009. – Т. 29, № 4. – С. 1114–1124.
6. Rousseau D. P. L. *Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis* / D. P. L. Rousseau, P. A. Vanrolleghem, i N. De Pauw // *Ecol. Eng.* – 2004. – Т. 23. – С. 151–163.
7. *Response of Removal Rates to Various Organic Carbon and Ammonium Loads in Laboratory-Scale Constructed Wetlands Treating Artificial Wastewater* / S. Wu, P. Kuschik, A. Wiessner // *Water Environ. Res.* – 2013. – Т. 85, № 1. – С. 44–53.
8. План дій зі сталого Енергетичного Розвитку міста Глиняни, Золочівського району, Львівської області на 2014-2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mysovenant.eumayors.eu/docs/seap/20062_1421245492.pdf
9. Воронов Ю. В. *Водоотведение и очистка сточных вод* / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
10. *Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF>.
11. *Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення*. СанПіН 4630-88 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4630400-88>.