

14. Schmid F. Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers / F. Schmid // Proceedings of the 9th IEA Heat Pump Conference. Zürich, May, 19-23, 2008. Zürich, 2008. P. 1-12.

15. Кізеєв М.Д. До питання використання теплових насосних установок на каналізаційних очисних спорудах // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. 2009. Вип. 3(47), Частина 2. С. 192–199.

Надійшло до редакції 22.11.2016

УДК 620.92, 628.3

Н.Б. ГОЛУБ, доктор технічних наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
О.А. КОЗЛОВЕЦЬ, інженер-дослідник
ТОВ «Енвітек»
М.В. ШИНКАРЧУК, аспірант
М.В. ПОТАПОВА, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

КОМПЛЕКСНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПТАХОФАБРИК ТА ФІЛЬТРАТУ ПІСЛЯ ЇХ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

Наведено технологічне рішення очищення стічних вод птахофабрик або тваринних комплексів від азотовмісних сполук та ХСК. Обґрунтовано, що раціональним є попереднє анаеробне зброджування стічних вод з подальшим очищенням частини фільтрату в аеробному процесі для проведення стадії нітрифікації. Раціональне співвідношення аеробного та анаеробного потоків на стадії денітрифікації складає 2:1. Очищення стічної води від сполук нітрогену досягає $77\pm 2\%$ при вихідній концентрації 289 мг/дм^3 .

Ключові слова: стічні води, азотовмісні сполуки, анаеробне зброджування, нітрифікація, денітрифікація.

Приведено технологическое решение очистки сточных вод птицефабрик или животноводческих комплексов от азотсодержащих соединений и ХПК. Обосновано, что рациональным является предварительное анаэробное сбраживание сточных вод с последующей очисткой части фильтрата в аэробной процессе, для проведения стадии нитрификации. Рациональное соотношение аэробного и анаэробного потоков на стадии денитрификации составляет 2:1. Очистка сточных

вод от соединений азота достигает $77\pm 2\%$ при исходной концентрации 289 мг/дм^3 .

Ключевые слова: сточные воды, азотсодержащие соединения, анаэробное сбраживание, нитрификация, денитрификация.

This paper shows technological solution of wastewater or filtrate treatment from nitrogen-containing compounds and COD. Rational usage of prior anaerobic wastewater digestion with further aerobic filtrate purification process for nitrification stage conduct is shown. Rational ratio of aerobic to anaerobic fluxes on denitrification stage is 2:1. Rate of wastewater purification from nitrogen-containing compounds reaches $77\pm 2\%$ under starting contents 289 mg/dm^3 .

Key words: wastewater, nitrogen-containing compounds, filtrate, stockbreeding waste.

Вступ

Основними сполуками, які містяться в стічних водах тваринних комплексів та мають негативний вплив на навколишнє середовища, вважаються азотовмісні речовини з амонійною формою нітрогену [1, 333]. Окрім цього, деякі галузі АПК мають відходи з незначним вмістом вологи. Процеси їх анаеробної переробки в енергоносії з високою енергоефективністю потребують вмісту вологи більше 90% [2, 30; 3, 247], що призводить до використання значних обсягів води. Також, фільтрат, що утворився після процесу метанового зброджування, відноситься до висококонцентрованих стічних вод і має в своєму складі велику кількість азотовмісних сполук та високе ХСК. Такий вміст забруднювачів потребує додаткового очищення [4, 40].

В інших галузях сільського господарства така проблема також наявна. На більшості фермах для утримання великої рогатої худоби (ВРХ) та свиней для видалення гнойової маси використовують водяний змив, що призводить до утворення гноївки з високим містом азотовмісних сполук та ХСК. Склад стічних вод при утриманні тварин та птиці наведено в табл.1.

Таблица 1

Склад стічних вод від утримання тварин та птиці

Джерело утворення стічної води	Показники якості стічних вод, мг/дм^3					Посилання
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	ХСК	БСК ₅	
Свині	$738,5\pm 36,9$	1380 ± 69	$614\pm 30,7$	$4421\pm 221,1$	$1856,5\pm 92,8$	[5, 335; 6, 244]
Кури	$1,7\pm 0,09$	$2,4\pm 0,12$	$289\pm 14,5$	$2050\pm 102,5$	$672,5\pm 33,7$	[7,1; 8, 1]
ВРХ	$2,3\pm 0,12$	$4,8\pm 0,24$	$554\pm 27,7$	$4997\pm 249,9$	$1003\pm 50,2$	[9, 1; 10,88]

З огляду на склад забруднювачів та високу екологічну небезпеку, що виникає в разі потрапляння такої стічної води до водойм, постає питання їх

раціонального очищення з отриманням позитивного екологічного та економічного ефектів.

Дана стаття присвячена вирішенню питання утилізації забруднювачів стічної води з тваринних комплексів, птахофабрик та фільтрату після метанового зброджування відходів сільського господарства.

Постановка задачі

Метою даної роботи є розробка комплексної технології очищення стічних вод від азотовмісних сполук.

Для досягнення вищенаведеної мети потрібно вирішити наступні задачі:

- провести анаеробну ферментацію відходів птахівництва для отримання модельних стічних вод (фільтрату);
- провести процес очищення стічної води за допомогою аеробних та анаеробних умов;
- визначити раціональні параметри процесу очищення стічної води від азотовмісних сполук;
- порівняти якість очищення стічної води відомими та запропонованими методами.

Методи та матеріали

Як модельну суміш фільтрату використовували рідку фракцію після коферментації пташиного посліду з целюлозовмісною сировиною (целюлозовмісний субстрат використовували для інтенсифікації процесу метанового зброджування [11, 24]). Целюлозовмісний субстрат – очерет звичайний (вологість – 12,47%, суха органічна речовина (СОР) – 53,79%). В СОР вміст целюлози за літературними даними становить 43,5%, лігніну – 37% [12, 200].

Анаеробну переробку пташиного посліду для отримання фільтрату проводили в лабораторних метантенках загальним об'ємом 1,5 дм³, в мезофільному температурному режимі – 37±1°C, протягом 21 доби. Відпрацьований субстрат після метанового зброджування відфільтровували від рідини за допомогою вакуумного насосу.

Концентрацію іонів амонію (NH₄⁺), нітритів (NO₂⁻), нітратів (NO₃⁻), вимірювали за стандартними методиками з використанням іономіра І-160МІ (виробництво РФ) [13, 4; 14, 4, 15, 5]. Хімічне споживання кисню (ХСК) визначали за стандартною методикою [16, 5].

Процес аерації проводили в аеротенках за допомогою аераторів з розмірами пор 0,4 мм, витрати повітря при цьому становили 210 дм³/год.

Процес денітрифікації проводили в ферментері, загальним об'ємом 1,5 дм³ в герметичних умовах. Для інтенсифікації процесу денітрифікації в реактор-денітрифікатор були поміщені синтетичні носії типу «ВІА».

Якісний склад газу, який утворився на стадії денітрифікації проводили за допомогою газового хроматографа ЛХМ-8-Д (виробництво СРСР) за

стандартною методикою [17, 273]. Концентрацію азоту в газовій суміші визначали за формулою:

$$C = KSM, \quad (1)$$

де, C – відсотковий вміст певного компонента газу в суміші; K – коефіцієнт газового компонента (для азоту 0,0069); S – площа трикутника на хроматограмі.

Визначення проводили з метою встановлення концентрації молекулярного азоту (N_2), що напряму відображає перебіг процесу денітрифікації.

Результати та їх обговорення

Склад фільтрату від косубстратного зброджування очерету та курячого посліду наведено в табл.2.

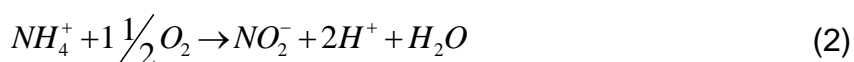
Таблиця 2

Склад фільтрату після анаеробного зброджування посліду та очерету

Стічна вода	Показники якості фільтрату, мг/дм ³			
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	ХСК
Фільтрат	1,4±0,03	0,0	138±7	1040±50

Дані, які наведено в табл.2, відрізняються від літературних даних, що наведено в табл.1 для стічної води, що утворюється в процесі утримання курей. Це свідчить про те, що процес метанового зброджування призводить до розкладу частини органічних сполук. Амонійний нітроген окиснюється до молекулярного азоту і вивільняється в біогаз. Про такий процес також свідчить зниження вмісту амонійного нітрогену на 52,2 % у модельному субстраті для метанового зброджування (початковий вміст іонів амонію – 289±14,45 мг/дм³).

Динаміка зниження вмісту іонів амонію у фільтраті в процесі нітрифікації наведено на рис.1. В процесі нітрифікації проходить наступна хімічна реакція:



З рис.1. видно, що раціональним періодом знаходження фільтрату в системі аерації (час гідравлічного утримання) є 2,5 години.

Нітрит, який утворився в процесі нітрифікації, є проміжною сполукою. В біохімічному ланцюзі NO_2^- за допомогою бактерій *p. Nitrobacter* переходить в нітрат (NO_3^-) за реакцією:



У процесі нітрифікації не відбувається видалення азоту з фільтрату. Результатом біохімічного перетворення є зміна ступеню окиснення нітрогену, його перехід з N^{-3} в N^{+3} та N^{+5} .

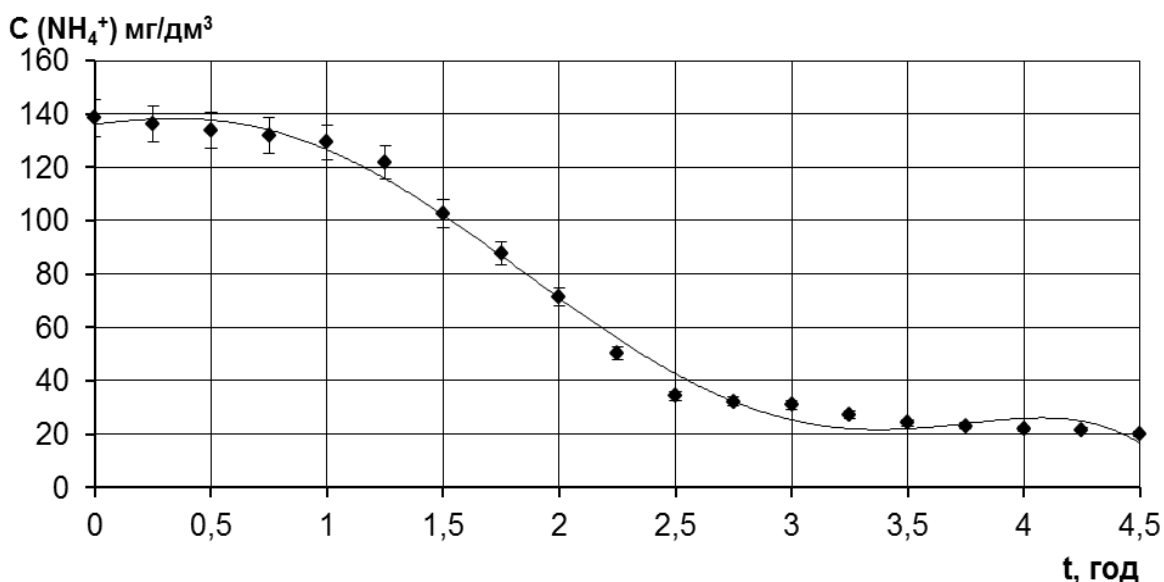


Рис. 1. Динаміка зміни $C(\text{NH}_4^+)$ мг/дм³ в залежності від терміну утримання сировини

Для видалення сполук нітрогену зі стічної води проаналізовано можливість утворення молекулярного азоту при розділенні потоку фільтрату на 2 частини. Одну направляли на нітрифікацію, другу без попереднього очищення – в реактор-денітрифікатор. Основна частина нітрогену після нітрифікації знаходиться у формі NO_2^- , у фільтраті нітроген знаходиться у формі NH_4^+ . При їх взаємодії повинно відбуватись утворення молекулярного азоту за реакцією:



і, відповідно, його видалення з стічної води.

Кількість видаленого з стічної води нітрогену в залежності від співвідношення об'ємів аерованих та неаерованих потоків наведено на рис.2. Як видно з діаграми найкращий ефект видалення сполук нітрогену спостерігався при співвідношенні аеробного до анаеробного потоків 2:1. При цьому ступінь очищення складає 77% і амонійний нітроген видалається з стічної води, а не переходить у іншу форму, як при нітрифікації.

На рис. 3 наведено вміст азоту в газовій фазі, що утворилась при ферментації в реакторі – денітрифікаторі. Найвищий вихід азоту спостерігається у співвідношенні об'ємів аерованого до некерованого потоків 2:1, що корелює з даними зниження вмісту іонів амонію в процесі денітрифікації.

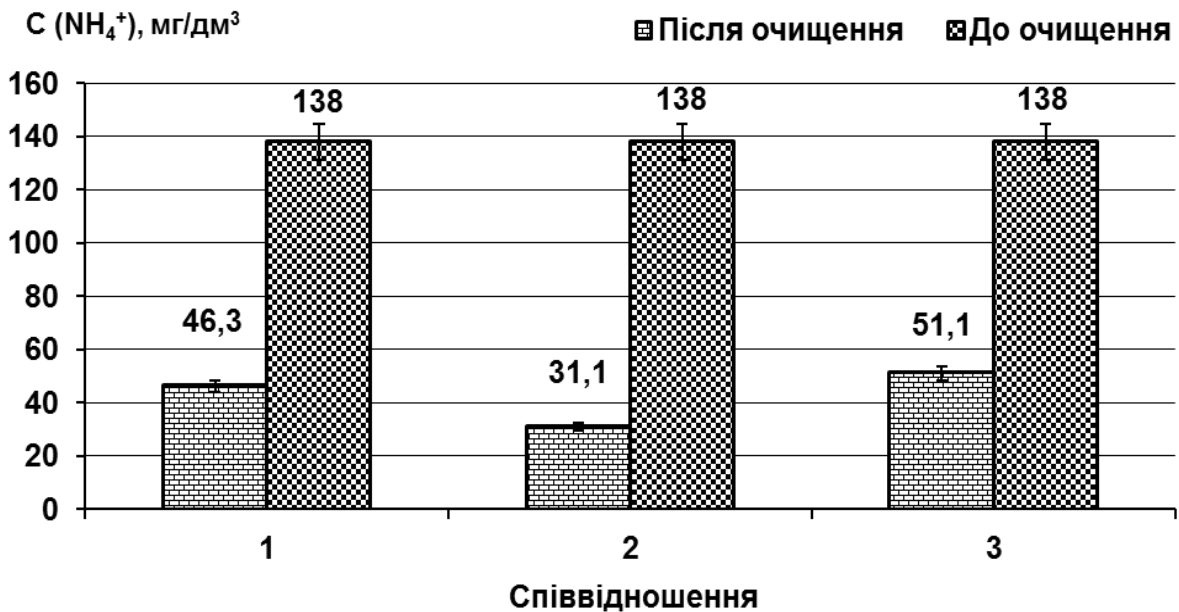


Рис. 2. Ефект очищення фільтрату від нітрогену при різних співвідношеннях аеробного до анаеробного потоків: 1 – 1:1, 2 – 2:1, 3 – 2:1

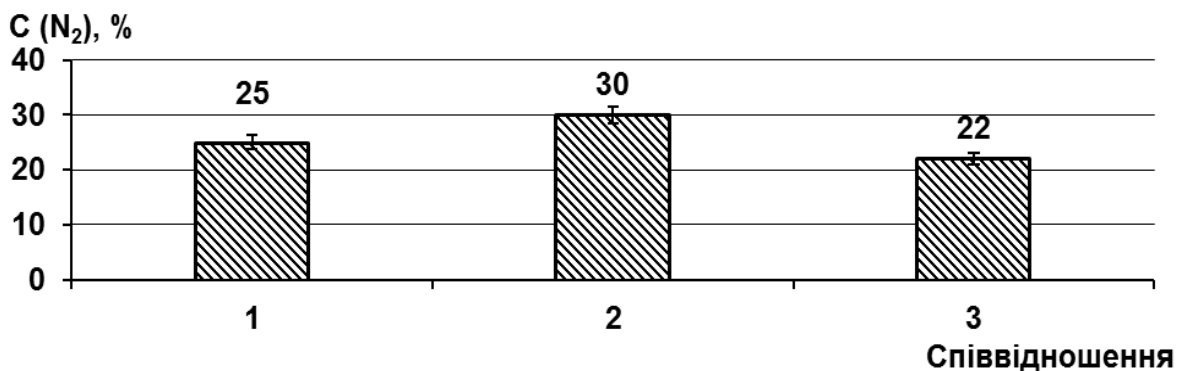


Рис. 3. Діаграма утворення молекулярного азоту в процесі денітрифікації при співвідношення аеробного до анаеробного потоків: 1 – 1:1, 2 – 2:1, 3 – 2:1

При очищенні стічної води з птахофабрики таким способом без попереднього метанового зброджування спостерігали результати, наведені на рис.4. Зниження амонійного нітрогену за раціональних умов при співвідношенні об'ємів потоків 2:1 складало $42 \pm 1\%$, що менше, ніж при застосуванні попередньої анаеробної ферментації з одержанням метану. Пояснити це можна тим, що в процесі аерації кисень спочатку йде на розкладання органічних речовин, а потім на окиснення амонійного нітрогену. При збільшенні терміну аерації утворюються як нітрити, так і нітрати. Оскільки в процесі метанового зброджування ХСК зменшується на 50...70% в залежності від параметрів процесу, то процес нітрифікації фільтрату проходить швидше. Також попереднє використання анаеробного процесу дозволяє отримати енергоносій, що знижує вартість процесу очищення стічної води.

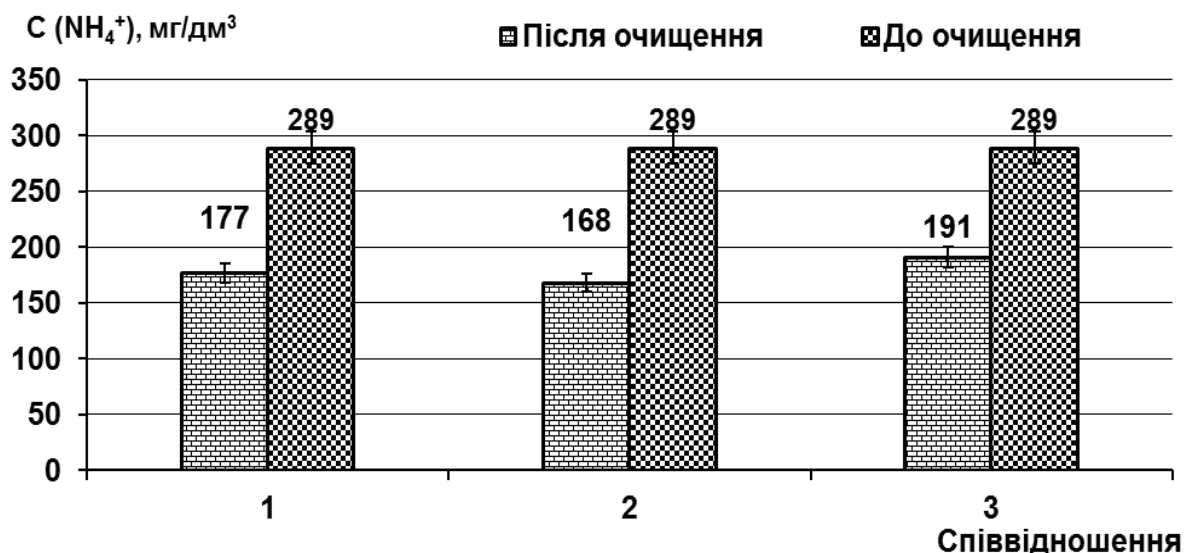


Рис. 4. Ефект очищення стічної води птахофабрики при різних співвідношеннях аеробного до анаеробного потоку: 1 – 1:1, 2 – 2:1, 3 – 2:1

Висновки

1. Запропоноване технологічне рішення очищення стічної води птахофабрик та тваринних комплексів передбачає попередню анаеробну стадію утворення біогазу для зниження вмісту ХСК. Встановлено, що для очищення стічної води від сполук нітрогену раціональним є співвідношення потоків, що направлені на стадію нітрифікації та денітрифікації 2:1, термін утримання стічної води на стадії нітрифікації – 2,5 години.

2. Запропоноване технологічне рішення включає стадії бродіння нітрифікації та денітрифікації. Такий процес дозволяє знизити концентрацію азотовмісних сполук у стічній воді на $77 \pm 2\%$. Без застосування попередньої анаеробної стадії очищення стічної води таким методом можна досягти зниження вмісту сполук нітрогену на $42 \pm 1\%$.

Список літератури

1. *Huang H.* Removal of ammonium from swine wastewater by zeolite combined with chlorination for regeneration. / H. Huang, L. Yang, Q. Xue, J. Liu, L. Hou, L. Ding. // *Journal of Environmental Management*, 2015. V. 160. P. 333–341.
2. *Грицун А.В.* Відходи птахівництва – джерело невикористаної енергії // *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*, 2012. №. 10. Т. 58. С. 27–32.
3. *Lay J.-J.* Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion // *Wat. Res.*, 1997. V.31. N.6. P. 1518–1524.
4. *Golub N.* Technology of anaerobic-aerobic treatment wastewaters from nitrogen compounds after biogas production // *Eastern european journal of enterprise technologies*, 2016. V.10. №.3. P. 35–40.

5. *González F. T.* Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, Mexico: Influence of plant species and contact time. // *Academic Journal*, 2009. V. 35. N. 3 P. 335–342.
6. *Mofokeng D. S.* The analysis of physicochemical characteristics of pigifarm seepage and its possible impact on the receiving natural environment // *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2016. V.10. N.8. P. 242–252.
7. *Очистка сточных вод птицефабрики* / НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: <http://voda-proekt.narod.ru/pticefabrika.html>.
8. *Птицефабрика* / НПО «ЭкоВодИнжиниринг» URL: <http://npo-ewi.ru/solutions/poultry/>
9. *Dairy Wastewater Generation and Characteristics / Waialeale Livestock Farm Polluted Runoff Control* URL: <http://www.fpeac.org/dairy/UniversityofHawaiidairywaste.pdf>
10. *Неверова О.П.* Современные методы утилизации навозосодержащих и сточных вод // *Аграрный вестник Урала*. 2015. №. 131. С. 86–90.
11. *Голуб Н.Б.* Математичне моделювання продукування метану в процесі ферментації // *Наукові вісті НТУУ "КПІ", Проблеми біології та біотехнології*, 2014. №.3. С. 21–95.
12. *Corno L.* New energy crop giant cane can substitute traditional energy crops increasing biogas yield and reducing costs // *Bioresource Technology*, 2015. V. 191. P. 197–204.
13. *МВВ № 081/12–0106–03* «Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній–іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера». – 6.
14. *КНД 211.1.4.023-95.* «Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Гріса в поверхневих і очищених стічних водах». – 5.
15. *КНД 211.1.4.027-95* «Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою у поверхневих та біологічно очищених водах». – 5.
16. *КНД 211.1.4.021–95.* «Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах». – 5.
17. *Лейбниц Э.* Руководство по газовой хроматографии. Т.1. // *Издательство Мир*, 1988. 480 с.

Надійшло до редакції 19.11.2016