

УДК 628.543:602

<https://doi.org/10.31713/vt320254>

Ковальчук В. А. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-4098-7802],
д.т.н., професор

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ У БІОТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Харчова промисловість характеризується використанням великої кількості води на одиницю продукції, утворенням висококонцентрованих стічних вод, які не містять токсичних домішок, проте, часто мають значення рН, що виходять за межі рекомендованого діапазону 6,5–8,5, можуть мати значні концентрації жирів і вимагати корегування вмісту біогенних елементів. З огляду на потенційну здатність до біологічного розкладу органічних забруднень і технологічні, економічні та екологічні переваги центральну роль у запобіганні забрудненню води водойми стічними водами харчової промисловості відіграють аеробні біотехнології їх очищення. Для попереднього і глибокого очищення стічних вод на підприємствах харчової промисловості використовується величезна кількість комплексних технологій, що крім біологічного, передбачають застосування методів механічного і фізико-хімічного очищення, доочищення, знезаражування та обробки осадів. Тому для правильного вибору технології очищення стічних вод конкретного підприємства харчової промисловості, доцільно застосувати системний аналіз комплексних біотехнологій очищення стічних вод. Структурний аналіз системи очищення стічних вод підприємств харчової промисловості у загальному випадку показує наступні послідовні функціональні елементи, що і є підсистемами даної системи: 1) попереднє очищення стічних вод; 2) біотехнологічне очищення стічних вод; 3) доочищення стічних вод (у випадку їх скидання у відкриту водойму); 4) знезаражування; 4) знешкодження осадів. Кожен елемент системи визначає ефективність роботи наступних елементів технологічної схеми. Аналіз і порівняння біореакторів різного типу і конструкції показало, що за окислювальною потужністю, концентрацією біомаси, ефективністю біологічного очищення і енергетичною ефективністю, займаною площею, простотою експлуатації, кількістю обслуговуючого персоналу, вартістю і тривалістю будівництва оптимальним для біологічного очищення стічних вод підприємств харчової промисловості є аеротенки-відстійники підвищеної гідравлічної висоти із поверхневою струминною аерацією конструкції НУВГП. На прикладі стічних вод м'ясопереробних підприємств досліджено залежність ефективності біологічного очищення і мулового



індексу від навантаження на активний мул. Для математичного моделювання процесу біологічного очищення стічних вод у виробничих умовах використовували модель Еккенфельдера. Кількість амонійного азоту, нітрифікованого в аеротенках-відстійниках і надалі вилученого із стічних вод шляхом симультанної денітрифікації, становила в середньому $0,2 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$.

Ключові слова: харчова промисловість; очисні споруди; системний аналіз; технологія НУВГП; ефективність очищення.

Постановка проблеми. Харчова промисловість є однією з провідних галузей промисловості України, що налічує понад 22000 підприємств, на яких працює понад 1 мільйон працівників. Сьогодні частка харчової промисловості становить 15–21% від загального обсягу промислового виробництва [1]. Харчова промисловість характеризується використанням великої кількості води на одиницю продукції, утворенням висококонцентрованих стічних вод, які не містять токсичних домішок, проте, часто мають значення рН, що виходять за межі рекомендованого діапазону 6,5–8,5, можуть мати значні концентрації жирів і вимагати корегування вмісту біогенних елементів. З огляду на потенційну здатність до біологічного розкладу органічних забруднень і технологічні, економічні та екологічні переваги центральну роль у запобіганні забрудненню води водойм стічними водами харчової промисловості відіграють аеробні біотехнології їх очищення. Для попереднього і глибокого очищення стічних вод на підприємствах харчової промисловості використовується величезна кількість комплексних технологій, що крім біологічного, передбачають застосування методів механічного і фізико-хімічного очищення, доочищення, знезаражування та обробки осадів [2; 3; 4; 5]. **Тому для правильного вибору технології очищення стічних вод конкретного підприємства харчової промисловості, її дослідження, моделювання, оптимізації та управління процесами, що використовуються, доцільно застосувати системний аналіз комплексних біотехнологій очищення стічних вод, що і є метою роботи.**

Структурний аналіз системи очищення стічних вод підприємств харчової промисловості у загальному випадку показує наступні послідовні функціональні елементи, що і є підсистемами даної системи: 1) попереднє очищення стічних вод; 2) біотехнологічне очищення стічних вод; 3) доочищення стічних вод (у випадку їх скидання у відкриту водойму); 4) знезаражування; 4) знешкодження

осадів. Кожен елемент системи визначає ефективність роботи наступних елементів технологічної схеми.

Блок попереднього очищення стічних вод повинен забезпечувати їх підготовку до біотехнологічного очищення: – видалення крупних домішок та піску; – максимальне зменшення концентрацій забруднень, особливо за завислими речовинами та жирами; – наявність в стічних водах біогенних елементів; – нейтралізацію стічних вод; – усереднення витрати стічних вод.

Видалення із стічних вод крупних домішок та піску доцільно здійснювати із застосуванням серійного обладнання – решіток (сит, сепараторів) та піскоуловлювачів (найкраще тангенційних, які мають невеликі розміри і можуть затримувати спливаючі речовини). Серійне обладнання може використовуватися також для нейтралізації стічних вод, а також для корегування вмісту в них біогенних елементів.

Флотаційне обладнання вибирали серед флотаторів різних виробників марок ENVI-PUR, НПВ ЭКВИК, Nijhuis Water Technology, FLOTTER-PRO, MAREX TECHNOLOGY, HUBER, HBO Екосистема, НУВГП. Порівняння цих флотаторів за їх ефективністю, простотою експлуатації, займаною площею, застосуванням чи відсутністю застосування коагулянтів і флокулянтів, поширеністю і тривалістю застосування дозволило зробити висновок щодо доцільності використання відстійників-флотаторів, розроблених в НУВГП [6; 7]. Ефективність їх роботи при очищенні стічних вод м'ясокомбінатів наведена в таблиці 1, а зовнішній вигляд – на рисунку 1.

Робота блоку біологічного очищення стічних вод харчової промисловості може здійснюватися на базі біофільтрів, аеротенків різноманітних конструкцій, біотенків, що можуть працювати за одноступінчастою (при скиданні стічних вод у міську каналізацію) і двоступінчастою схемами (при скиданні очищених стічних вод у водойму).

Вибір споруди, на основі якої має реалізуватися біотехнологія очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, має здійснюватися на основі аналізу її придатності до роботи у специфічних умовах: 1) високих концентрацій забруднень за ХСК, БСК, завислими речовинами; 2) можливо високих концентрацій сполук азоту і фосфору; 3) підвищених концентрацій жирів; 4) можливості сезонного надходження стічних вод; 5) порівняно невеликих витрат стічних вод.

Таблица 1

 Середня ефективність флотаційного очищення стічних вод
м'ясопереробних підприємств

Найменування показників	Ефективність флотаційного очищення, %, для підприємств						
	Чернігівський м-т «Ритм»	Ніжинський м-т	Білоцерківський м-т «Поліс»	Новгород-Сіверський м-т	М-переробний комплекс «Росана»	Птахофабрика «Оріль-Лідер»	Морозівська птахофабрика
Завислі речовини	81,8	83,9	85,8	59,7	35,5	76,8	95,7
ХСК	57,3	51,9	65,5	47,3	39,5	67,1	76,0
БСК _{повн}	41,8	51,4	61,1	45,2	50,7	49,0	74,2
БСК ₅	51,1	48,6	55,8	52,8	43,7	53,8	63,8
Жири	86,1	75,8	87,8	77,3	65,6	76,8	93,0

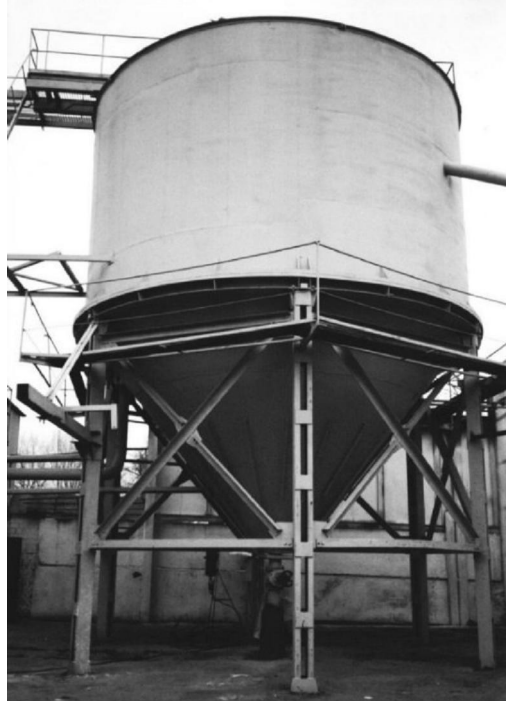


Рис. 1. Відстійник-флотатор на очисних спорудах Білоцерківського м'ясокомбінату «Поліс»

Вибір споруди, на основі якої має реалізуватися біотехнологія очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, має здійснюватися на основі аналізу її придатності до роботи у специфічних умовах: 1) високих концентрацій забруднень за ХСК, БСК, завислими речовинами; 2) можливо високих концентрацій

сполук азоту і фосфору; 3) підвищених концентрацій жирів; 4) можливості сезонного надходження стічних вод; 5) порівняно невеликих витрат стічних вод.

Аналіз і порівняння біореакторів різного типу і конструкції показало, що за окислювальною потужністю, концентрацією біомаси, ефективністю біологічного очищення і енергетичною ефективністю, займаною площею, простотою експлуатації, кількістю обслуговуючого персоналу, вартістю і тривалістю будівництва оптимальним для біологічного очищення стічних вод підприємств харчової промисловості є аеротенки-відстійники підвищеної гідравлічної висоти із поверхневою струминною аерацією конструкції НУВГП.

Аеротенк-відстійник підвищеної гідравлічної висоти (6–10 м) із поверхневою струминною аерацією являє собою круглий у плані металевий резервуар, у центрі якого розміщений аеротенк, відділений від периферійного вторинного відстійника за допомогою вертикальної циліндричної перегородки, що не доходить до дна (рис. 2) [1; 8; 9; 10; 11]. Аерація мулової суміші здійснюється поверхневими струминними аераторами, похиленими під кутом 60° до горизонту. Робоча рідина струминних аераторів відбирається насосами із придонної частини аеротенка за допомогою нерухомих пристроїв, подібних за конструкцією до мулососів радіальних вторинних відстійників. Очищені стічні води подаються у верхню частину зони аерації, очищені стічні води збираються і видаляються із вторинного відстійника за допомогою кільцевого лотка з водозливом. За допомогою струминних аераторів здійснюється безперервна циркуляція мулової суміші з нижньої у верхню зону аеротенка, що, разом із розкручуванням мулової суміші у плані аеротенка за рахунок швидкісного напору струмин похилих струминних аераторів, створює її спіралеподібний низхідний рух.

У зоні проникання струмин аераторів (зона аерації) має місце трифазна система (стічна вода, активний мул, бульбашки повітря, захоплені струминами рідини), яка перетворюється на двофазну (стічні води, активний мул) у нижній частині аеротенка. У середній зоні аеротенка внаслідок біохімічних процесів відбувається поступове зменшення концентрацій розчиненого кисню (перехідна зона), який повністю споживається до початку нижньої аноксидної зони. Завдяки цьому в аеротенку за допомогою єдиного активного мулу одночасно здійснюються процеси біологічного окислення органічних забруднень, нітрифікації та симультанної денітрифікації.



Підвищена гідравлічна висота споруди дає можливість підтримувати в аеротенку більші, у порівнянні із звичайними аеротенками, концентрації активного мулу за рахунок збільшення робочої висоти вторинних відстійників, а також зменшити площу споруди у плані.

Результати досліджень. Дослідження ефективності роботи аеротенків-відстійників здійснювали на діючих очисних спорудах ряду підприємств м'ясної і молочної промисловості, заводу із виробництва концентрованого яблунового соку, заводу із виробництва кукурудзяного крохмалю і карамельної патоки, ветсанутильзаводу. На біологічне очищення надходили стічні води, що пройшли попереднє очищення на решітках, у піскоуловлювачах і у відстійниках-флотаторах. Результати очищення стічних вод деяких підприємств в аеротенках-відстійниках наведені у таблиці 2, а зовнішній вигляд аеротенків-відстійників – на рисунку 3.

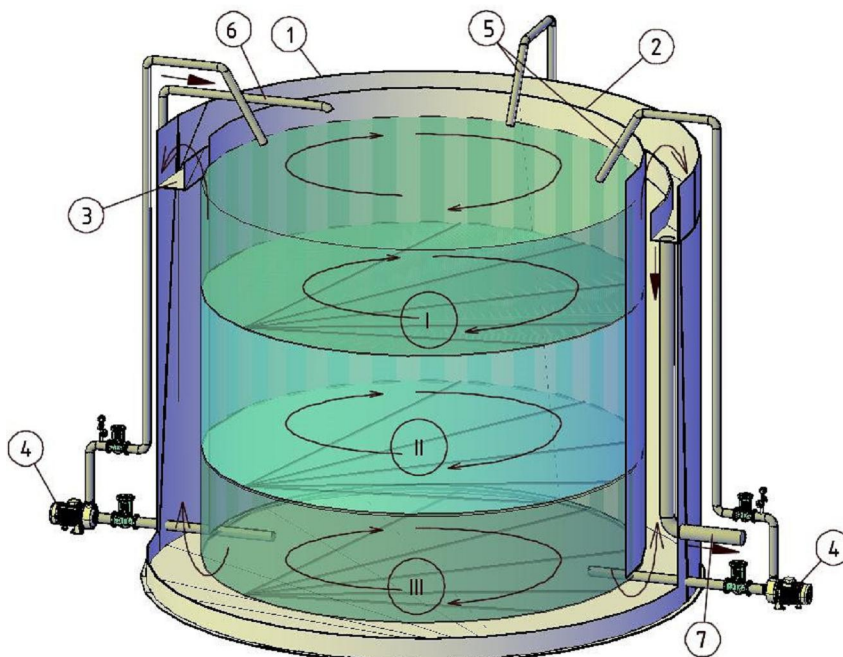


Рис. 2. Схема аеротенка-відстійника підвищеної гідравлічної висоти з поверхневою струминною аерацією: 1 – зовнішній металевий корпус; 2 – вертикальна циліндрична перегородка що розділяє зону аерації (в центрі) і зону відстоювання (на периферії); 3 – збірний жолоб очищених стічних вод; 4 – насос робочої рідини струминних аераторів; 5 – струминні аератори; 6 – подача стічних вод на очищення; 7 – відведення очищених стічних вод

Таблиця 2

Результати біологічного очищення стічних вод в аеротенках-відстійниках [8]

Показники забруднень стічних вод	Концентрації забруднень, мг/л, для підприємств			
	Чернігівський м-т «Ритм»* [4]	Ніжинський м-т* [5]	Шосткінський міськмолкомбінат*	Завод із виробництва концентрованого яблуневого соку**
рН	<u>6,50-8,15</u> 7,37	<u>7,31-7,92</u> 7,60	<u>7,12-7,74</u> 7,38	<u>6,35-7,39</u> 7,00
Завислі речовини	<u>5,2-44</u> 23	<u>24-229</u> 128,1	<u>194-345</u> 257	<u>74-167</u> 125
ХСК	<u>85-445</u> 248	<u>185-746</u> 420	<u>45-739</u> 231	<u>129-604</u> 312
БСК _{повн}	<u>10-104</u> 39,8	<u>12,1-273</u> 96,1	<u>12,5-613</u> 58	<u>335-542</u> 127
Азот амонійний	<u>0-30,3</u> 14,2	<u>0-18,5</u> 2,45	<u>0-0,87</u> 0,48	<u>0-5,9</u> 2,1
Нітрити (N)	<u>0-3,89</u> 0,88	<u>0-0,68</u> 0,11	відс.	відс.
Нітрати (N)	<u>0-39,5</u> 20,1	<u>0-36,1</u> 16,5	відс.	2,3-19,1
Фосфати	<u>0-18</u> 3,75	<u>7,9-33</u> 18,8	<u>0-61,3</u> 21,9	<u>0-15</u> 7,9
Жири	<u>5,3-34,3</u> 18,4	<u>11-46,7</u> 27,1	13	відс.

*скид очищених стічних вод у міську каналізацію

**перший ступінь біологічного очищення

Методом оптичного мікроскопування активного мулу було встановлено, що за своїм гідробіологічним складом він не відрізняється від активного мулу міських очисних споруд.

На прикладі стічних вод м'ясопереробних підприємств досліджено залежність ефективності біологічного очищення і мулового індексу від навантаження на активний мул. Встановлено, що граничне навантаження на активний мул за БПК_{повн}, за якого



досягаються показники повної біологічного очищення стічних вод, становить 260 мг/(г·добу) [8; 10].



Рис. 3. Аеротенки-відстійники на очисних спорудах Шосткінського міськмолкомбінату

За навантажень на активний мул за $BPK_{повн}$ менших від 500 мг/(г·добу), ефективність біологічного очищення становить 92–99%, а при більших навантаженнях – зменшується до 80–98%. Залежність мулового індексу від навантаження на активний мул за $BPK_{повн}$ має чіткий характер і нагадує відому аналогічну залежність для міських стічних вод, однак при цьому не спостерігається «спухання» активного мулу в діапазоні навантажень 500–1300 мг/(г·добу). При збільшенні навантаження за $BPK_{повн}$ вище 400 і зменшення нижче 150 мг/(г·добу) муловий індекс зростає, не перевищуючи при цьому значення $131 \text{ см}^3/\text{г}$, що свідчить про його задовільні седиментаційні властивості. Збільшення концентрації активного мулу в зоні аерації при цьому не призводить до значного збільшення його виносу із вторинних відстійників. Так, наприклад, при збільшенні концентрації активного мулу в зоні аерації аеротенків-відстійників Ніжинського м'ясокомбінату до $7,1 \text{ г}/\text{дм}^3$, що забезпечувало зростання окислювальної потужності за $BPK_{повн}$ до

6850 г/(м³·добу), винос активного мулу із вторинних відстійників не перевищував 229 мг/дм³, що відповідало вимогам до скиду очищених стічних вод у міську каналізацію.

Для математичного моделювання процесу біологічного очищення стічних вод у виробничих умовах використовували модель Еккенфельдера, яка найточніше описує експериментальні дані. Графічна інтерпретація експериментальних даних показала (рис. 4), що значення константи K збільшуються при ефективностях біологічного очищення понад 60–70% і можуть бути визначені за формулою [10]

$$K = a(1 - \eta)^b = a \left(\frac{L_{ex}}{L_{en}} \right)^b,$$

де η – ефективність біологічного очищення, частка одиниці; a і b – емпіричні коефіцієнти (табл. 3).

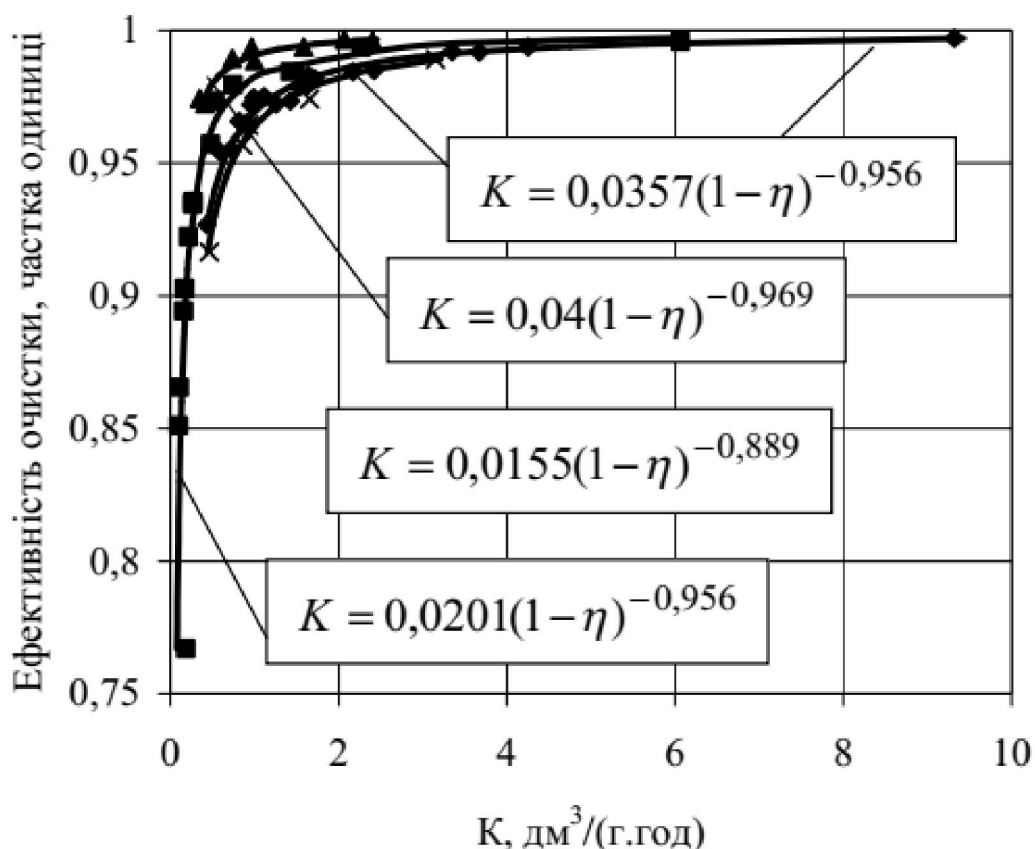


Рис. 4. Залежність значень константи K від ефективності біологічного очищення стічних вод [10]: ● – Чернігівський м-т «Ритм»; ▲ – Ніжинський м-т; ■ – м'ясопереробний комплекс «Росана», ◆ – Білоцерківський м-т «Поліс». Концентрації забруднень стічних вод визначені в одиницях БПК₅



Таблиця 3

Значення коефіцієнтів a і b [10]

Значення коефіцієнтів a і b для підприємств							
Чернігівський м-т «Ритм»		Ніжинський м-т		М-переробний компл. «Росана»		Білоцерківський м-т «Поліс»	
a	b	a	b	a	b	a	b
Концентрації забруднень стічних вод визначені в одиницях ХПК							
0,0286	-0,95	0,00468	-1,76	0,0025	-1,49	0,0123	-1,48
Концентрації забруднень стічних вод визначені в одиницях БПК ₅							
0,0357	-0,95	0,0201	-0,95	0,0155	-0,889	0,040	-0,969
Концентрації забруднень стічних вод визначені в одиницях БПК _{повн}							
0,0378	-0,93	0,0179	-1,00	0,0221	-0,783	0,0134	-1,30

На відміну від відомих споруд для біологічного очищення, у яких здійснюються процеси нітрифікації-денітрифікації, в аеротенках-відстійниках аеробна і аноксидна зони розташовуються по висоті споруди. Процеси біологічного очищення, нітрифікації та денітрифікації здійснюються гетеротрофними та автотрофними бактеріями, що складають біоценоз єдиного активного мулу (одномулова схема). Кількість амонійного азоту, нітрифікованого в аеротенках-відстійниках і надалі вилученого із стічних вод шляхом денітрифікації, становила в середньому 0,2 кг/(м³·добу).

Блок доочищення стічних вод передбачає використання аерованих фільтрів з плаваючим пінополістирольним завантаженням (рис. 5). Фільтри показали високу ефективність доочищення. Так наприклад, показники забруднень доочищених стічних вод підприємства становили (мг/дм³): завислі речовини – 0,1–3,2; ХСК – 13–26; БСК₅ – 1,6–3,7; азот амонійних солей – 0–2,1; жири – відсутні.

Для знезараження біологічно очищених стічних вод доцільно використовувати гіпохлорит натрію, отримуваний електролітичним шляхом. Для зневоднення утворених осадів, які можуть містити жиромісні речовини слід застосовувати центрифуги або шнекові дегідратори.

Висновки. Застосування підходів системного аналізу до біотехнологій очищення стічних вод підприємств харчової промисловості дозволяє здійснити їх структурний і функціональний аналіз, виконати математичне моделювання і оптимізацію

конструкції біореакторів та очисних схем, здійснити комплексну оцінку їх ефективності, покращити управління системами очищення.



Рис. 5. Пінополістирольний фільтр для доочищення стічних вод забійного цеху

1. Food processing wastewater biological treatment. *Food processing wastewater biological treatment Lubelska* / Lublin University of Technology. Lublin, 2022. P. 123–134. **2.** Carawan R. E. Water and wastewater management of food processing. Spinoff on meatprocessing water and wastewater management. Extension special report № AM18c. The north California agricultural extension service, 1979. **3.** European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 2006. URL:



http://www.eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fdm_bref_0806.pdf, (дата звернення: 10.04.2026). **4.** Malý J., Hlavinek.P. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno : Noel 2000, 1996. **5.** Rosenwinkel K.-H., Austermann-Haun U., Meyer H. Environmental Biotechnology: Concepts and Applications. Chapter 2. *Industrial Wastewater Sources and Treatment Strategies*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. **6.** Kovalchuk V. Wastewater treatment by flotation. *Water Supply and Wastewater Removal : monografie*. Politechnika Lubelska / Lublin University of Technology. Lublin, 2020. P. 135–162. **7.** Ковальчук В. А. Відстійник-флотатор для попередньої очистки стічних вод м'ясопереробних підприємств. *Ринок інсталяцій*. 2009. № 9. С. 20–21. **8.** Kovalchuk V. Biological treatment intensification of food industry wastewater. *Water Supply and Wastewater Removal : monografie*. Politechnika Lubelska / Lublin University of Technology. Lublin, 2016. P. 78–90. **9.** Ковальчук В. А. Ефективні біореактори для очистки стічних вод. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. К. : КНУБА, 2014. Вип. 24. С. 110–118.* **10.** Ковальчук В. А., Самелюк В. І., Ковальчук О. В. Біотехнологія очистки стічних вод підприємств харчової промисловості. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Сер. Технические науки и архитектура. К. : Техніка, 2010. Вип. 93. С. 182–187.* **11.** Ковальчук В. А. Біологічна очистка стічних вод в аеротенках-відстійниках зі струминною аерацією. *Ринок інсталяцій*. 2010. № 5. С. 11–13. **12.** Ковальчук В. А. Дослідженні процесів нітрифікації-денітрифікації в аеротенках-відстійниках підвищеної гідравлічної висоти. *Гідромеліорація і гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць. Рівне, 2009. Вип. 34. С. 199–206.*

REFERENCES:

1. Food processing wastewater biological treatment. *Food processing wastewater biological treatment Lubelska / Lublin University of Technology*. Lublin, 2022. P. 123–134. **2.** Carawan R. E. Water and wastewater management of food processing. Spinoff on meatprocessing water and wastewater management. Extension special report № AM18c. The north California agricultural extension service, 1979. **3.** European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available techniques in the Food, Drink and Milk Industries. 2006. URL: http://www.eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fdm_bref_0806.pdf, (дата звернення: 10.04.2026). **4.** Malý J., Hlavinek.P. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno : Noel 2000, 1996. **5.** Rosenwinkel K.-H., Austermann-Haun U., Meyer H. Environmental Biotechnology: Concepts and Applications. Chapter 2. *Industrial Wastewater Sources and Treatment Strategies*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. **6.** Kovalchuk V. Wastewater treatment by flotation. *Water Supply and Wastewater Removal : monografie*. Politechnika Lubelska / Lublin University of Technology. Lublin, 2020. P. 135–162. **7.** Kovalchuk V. A. Vidstiinyk-flotator dlia poperednoi ochystky stichnykh vod miasopererobnykh pidpriemstv. *Rynok instaliatsii*. 2009. № 9. S. 20–21. **8.** Kovalchuk V. Biological treatment intensification of food industry wastewater. *Water Supply and Wastewater Removal : monografie*. Politechnika Lubelska / Lublin University of Technology. Lublin, 2016. P. 78–90. **9.** Kovalchuk V. A. Efektyvni bioreaktory dlia ochystky stichnykh vod. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky : nauk.-tekhn. zb. K. : KNUBA, 2014. Vyp. 24. S. 110–118.* **10.** Kovalchuk V. A., Sameliuk V. I., Kovalchuk O. V. Biotekhnolohiia

ochystky stichnykh vod pidpriemstv kharchovoi promyslovosti. *Kommunalnoe khoziaistvo horodov* : nauch.-tekhn. sb. Ser. *Tekhnicheskyye nauky y arkhytektura*. K. : Tekhnika, 2010. Vyp. 93. S. 182–187. **11.** Kovalchuk V. A. Biologichna ochystka stichnykh vod v aerotenkakh-vidstiynkakh zi strumynnoiu aeratsiieiu. *Rynok instalitsii*. 2010. № 5. S. 11–13. **12.** Kovalchuk V. A. Doslidzhenni protsesiv nitryfikatsii-denitryfikatsii v aerotenkakh-vidstiynkakh pidvyshchenoi hidravlichnoi vysoty. *Hidromelioratsiia i hidrotekhnichne budivnytstvo* : zb. nauk. prats. Rivne, 2009. Vyp. 34. S. 199–206.

Kovalchuk V. A. [1; ORCID ID: 0000-0002-4098-7802]

Doctor of Engineering, Professor

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

SYSTEM ANALYSIS IN BIOTECHNOLOGIES OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES WASTEWATER TREATMENT

The food industry is characterized by the use of a large amount of water per unit of production, the formation of highly concentrated wastewater that does not contain toxic impurities, however, often has pH values that go beyond the recommended range of 6,5–8,5, may have significant concentrations of fats and require adjustment of the content of biogenic elements. Given the potential ability to biologically decompose organic pollutants and technological, economic and environmental advantages, aerobic biotechnologies for their purification play a central role in preventing water pollution by food industry wastewater. For preliminary and deep treatment of wastewater at food industry enterprises, a huge number of complex technologies are used, which, in addition to biological, involve the use of methods of mechanical and physico-chemical treatment, secondary treatment, disinfection and sludge treatment. Therefore, for the correct choice of wastewater treatment technology for a particular food industry enterprise, it is advisable to apply a system analysis of complex wastewater treatment biotechnologies. Structural analysis of the food industry enterprises wastewater treatment system of in the general case shows the following sequential functional elements, which are subsystems of this system: 1) preliminary wastewater treatment; 2) biotechnological treatment of wastewater; 3) secondary wastewater treatment (in the case of their discharge into an open water body); 4) disinfection; 4) sludge neutralization. Each element of the system determines the efficiency of the operation of the following elements of the technological scheme. Analysis and comparison of bioreactors of different types and designs showed that in terms of oxidation capacity, biomass concentration, biological treatment efficiency and energy efficiency, area occupied, ease of operation, number of



service personnel, cost and duration of construction, the optimal ones for biological treatment of wastewater from food industry enterprises are aerotanks-settlers of increased hydraulic height with surface jet aeration of the NUWM design. Using the example of wastewater from meat processing enterprises, the dependence of the efficiency of biological treatment and sludge index on the load on activated sludge was studied. For mathematical modeling of the process of biological treatment of wastewater in production conditions, the Eckenfelder model was used. The amount of ammonium nitrogen nitrified in aerotanks-settlers and subsequently removed from wastewater by simultaneous denitrification was on average 0.2 kg/(m³·day).

Keywords: food industry; treatment facilities; system analysis; NUWM technology; purification efficiency.

Отримано: 17 червня 2025 року
Прорецензовано: 02 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року