

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет фармацевтичних технологій та менеджменту
Кафедра біотехнології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ОРГАНІЗАЦІЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ
ВОД В АЕРОТЕНКАХ»**

Виконав : здобувачка вищої освіти групи 162БТ620(3,10з)-01а
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія

Вікторія НАЗАРІЙЧУК

Керівник: Завідувачка кафедри біотехнології, д.фарм.н,
професор Наталя ХОХЛЕНКОВА

Рецензент: Доцент закладу вищої освіти кафедри біотехнології,
біофізики та аналітичної хімії Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”, к.біол..н.,
доцент Ірина БЄЛИХ

Харків – 2025 рік

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена організації біологічного очищення стічних вод у аеротенках. Описано технологічні аспекти процесу, типи аеротенків, склад активного мулу, а також вплив екологічних і технічних факторів на ефективність очищення. Проведено аналіз екологічної значущості очищення стічних вод, а також розглянуто шляхи підвищення ефективності очищення для промислових підприємств. Робота складається з 3 розділів, містить 12 рисунків, 7 таблиць, 30 джерел літератури.

Ключові слова: стічні води, активний мул, аеротенк

ANNOTATION

The work is devoted to the organization of biological wastewater treatment in aeration tanks. The technological aspects of the process, types of aeration tanks, composition of activated sludge, as well as the influence of environmental and technical factors on the efficiency of treatment are described. The ecological significance of wastewater treatment is analyzed, and ways to increase the efficiency of treatment for industrial enterprises are also considered. The work consists of 3 sections, contains 12 figures, 7 tables, 30 sources of literature.

Keywords: wastewater, activated sludge, aeration tank

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Аналітичний огляд.....	6
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	16
2.1 Характеристика готового продукту.....	16
2.2 Характеристика сировини.....	19
2.3 Характеристика біологічних об'єктів.....	20
2.4 Біосинтез цільового продукту.....	22
3 Технологічна частина.....	30
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	30
3.2 Розрахунок і вибір обладнання	34
3.3 Опис технологічного процесу.....	41
3.4 Схеми виробництва.....	47
3.5 Критичні параметри виробництва.....	53
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	54
Висновок.....	59
Список використаної літератури.....	60
Додатки.....	66

					162.13.04.00 000 ПЗ			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Назарійчук				Організація біологічного очищення стічних вод в аеротенках Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Хохленкова						2	60
.						НФаУ Кафедра біотехнології		
Н. контр.								
Затвердив	Хохленкова Н.В.							

ВСТУП

Актуальність теми. Біологічне очищення стічних вод в аеротенках є одним із ключових процесів, що забезпечує екологічну безпеку та збереження водних ресурсів. У сучасних умовах це питання набуває особливого значення через кілька причин.

Промислові стоки, зокрема з молокопереробних підприємств, містять велику кількість органічних забруднень, зокрема білків, жирів, лактози та мінеральних солей. Без належного очищення такі стоки можуть спричинити евтрофікацію водойм, погіршення кисневого режиму та загибель водних організмів. Зокрема, для Харківського регіону, де концентрується значна кількість промислових підприємств, ефективне очищення стічних вод є критично важливим для збереження стану річок Лопань, Уди та Сіверського Дінця.

Більшість очисних споруд України, зокрема й Харкова, були збудовані ще за радянських часів і не відповідають сучасним екологічним вимогам. Це спричиняє низьку ефективність очищення вод та збільшення навантаження на довкілля. Руйнування інфраструктури внаслідок бойових дій у Харківському регіоні посилює проблему забруднення стічними водами. Урбанізація призводить до збільшення обсягів стоків, які потребують очищення.

Сучасні технології біологічного очищення в аеротенках дозволяють не лише ефективно очищати воду, але й отримувати цінні побічні продукти, такі як біогаз. Це відкриває можливості для енергозбереження та зменшення витрат підприємств.

Відповідно до екологічного законодавства України, стічні води, що скидаються у водойми, мають відповідати суворим нормативам. Забезпечення відповідності цим стандартам є важливим завданням для промислових підприємств.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Таким чином, дослідження процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках є актуальним з огляду на необхідність забезпечення екологічної рівноваги, модернізації технічних рішень та впровадження економічно ефективних технологій.

Мета роботи полягає в розробці оптимальної організації процесу біологічного очищення стічних вод у аеротенках, що дозволяє досягти високої екологічної ефективності та мінімізувати вплив промислових стоків на навколишнє середовище.

Для досягнення мети були визначені завдання:

1. Провести аналіз існуючих систем біологічного очищення стічних вод.
2. Вивчити склад активного мулу та його роль у процесі очищення.
3. Розробити рекомендації щодо впровадження аеротенків на стадії очищення стічних вод на молокопереробному підприємстві, розрахувати його параметри згідно з витратами стічних вод підприємства.
4. Скласти технологічну та апаратурну схеми очищення.
5. Оцінити екологічні аспекти очищення стічних вод.

Об'єктом роботи є стічні води, що утворюються на молокопереробному підприємстві.

Предметом роботи є процес біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

Методи. Аналітичні. Проведено огляд наукової літератури, нормативних документів та даних щодо біологічного очищення стічних вод, зокрема особливостей роботи аеротенків. Аналіз технічних характеристик активного мулу, складу стічних вод та особливостей їхнього очищення.

Розрахункові. Розрахунок матеріального балансу процесу очищення, продуктивності аеротенків та витрат повітря для забезпечення процесу аерації.

Графічні. Розробка схем процесу очищення стічних вод з використанням аеротенків.

Порівняльні. Порівняння ефективності різних типів аеротенків

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(змішувачів, витіснювачів та комбінованих). Аналіз отриманих даних у контексті відповідності нормативним вимогам.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані для модернізації очисних споруд промислових підприємств, зокрема молокопереробних заводів. Запропоновані підходи сприяють зниженню витрат на очищення води, забезпеченню екологічної безпеки та покращенню стану водних ресурсів регіону.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика процесу очищення стічних вод

Очищення стічних вод для Харкова є важливою інженерно-екологічною проблемою, яка ускладнилася через кілька ключових факторів, зокрема через військові дії, урбанізацію та застарілість інфраструктури. Більша частина системи водовідведення у Харкові була збудована ще за радянських часів і потребує модернізації. Руйнування деяких ділянок інфраструктури внаслідок бойових дій може призводити до аварійних викидів стічних вод у природні водойми, зокрема в річки Лопань, Уди, Сіверський Донець, що призводить до підвищеного ризику потрапляння токсичних речовин у стічні води через бойові дії (нафтопродукти, важкі метали, хімічні речовини).

Харків є одним із найбільших промислових центрів України, тому підприємства міста значно впливають на обсяги та якість стічних вод. Основні джерела викидів стічних вод у місті представлені промисловими підприємствами різних галузей, кожна з яких має свої особливості у використанні води та підходах до її очищення. Модернізація підприємств і посилення екологічного контролю є необхідними для збереження екосистеми Харкова та запобігання довгостроковим екологічним наслідкам.

Загальні підходи до очищення міських стічних вод наступні. Процес очищення стічних вод починається з видалення великого сміття. У грабельному відділенні встановлені решітки, які затримують частки крупного сміття. Автоматичні граблі очищають поверхню решіток, згрібаючи затримане сміття. Зібране сміття віджимають на спеціальних установках і транспортують на сміттєспалювальний завод.

На наступному етапі здійснюється очищення води від дрібніших домішок у пісколовках. У цих спорудах осаджується до 60% піску та глини та

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

органічних домішок розміром більше 0,25 мм. Через високий вміст органічних речовин (понад 10%) зібраний пісок не використовується в промисловості. Піщану масу виводять із пісколовок на спеціальні майданчики, загалом щороку збирається приблизно 20 тон піску. Після механічного очищення вода потрапляє у первинні відстійники, які мають круглу форму, діаметр 40 м та глибину 4 м. За 2–2,5 год, поки вода рухається від центру відстійника до збірного лотка, з неї осідає близько 40% завислих часток. Осад відкачується до метантенків, де він переробляється в біогаз, що складається переважно з метану. Цей процес є анаеробним, оскільки відбувається за мінімальної кількості повітря. Отриманий газ використовується для обігріву приміщень. Очищена вода далі надходить до аеротенків. У цих резервуарах вода насичується повітрям, завдяки чому створюється сприятливе середовище для активного мулу - колоній мікроорганізмів, які поглинають органічні речовини та активно розмножуються. Після перебування в аеротенках протягом 2–2,5 год активний мул осідає й спрямовується до мулових колодязів. На фінальному етапі очищена вода відводиться в річки, а надлишковий мул транспортується на мулові поля для подальшої обробки або утилізації.

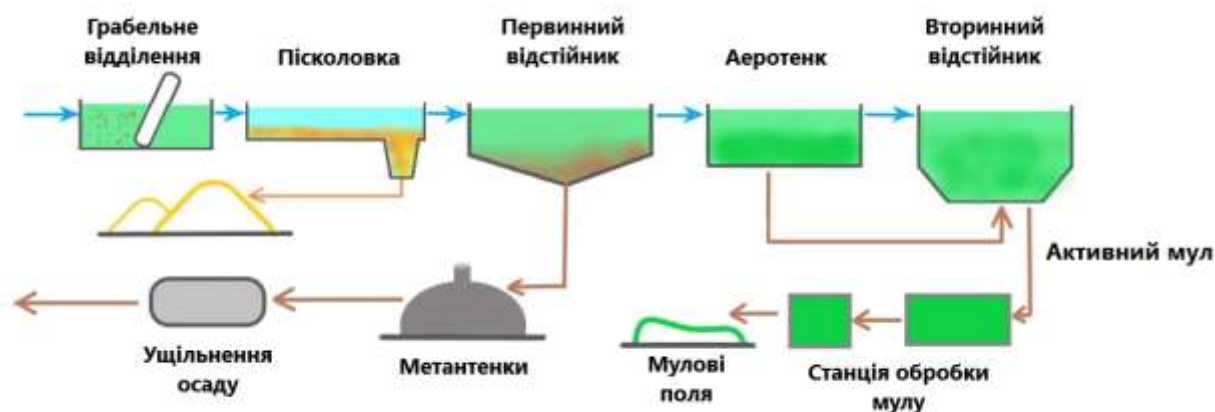


Рис. 1.1 – Загальна схема облаштування станції очищення стічних вод



Рис. 1.2 – Приклад апарату для 1 етапу механічного очищення - габаритного сміття (грабельні решітки з отворами 16 мм)

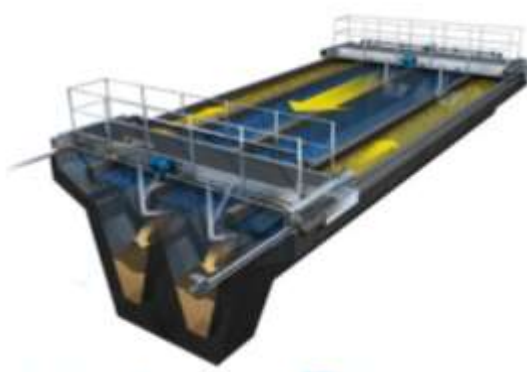


Рис. 1.3 - Приклад апарату для 2 етапу механічного очищення – дрібних домішок – піску, глини тощо розміром близько 0,25 мм (пісколовки з отворами 16 мм)



Рис. 1.4 – Приклад відстійників та аеротенків (первинні відстійники діаметром 40 м, глибина – 4 м, аеротенки з перемішуванням)

Очищення стічних вод м. Харкова відбувається підприємством «Комплекс з перекачування та очистки стічних вод», створеного у 2021 р. та об'єднавши наступні структури: дві станції біологічного очищення - міські очисні споруди водовідведення МОСВ №1 (розташована на Диканівських очисних спорудах) та МОСВ №2 (розташовано на Безлюдівських очисних спорудах), а також ділянки з експлуатації насосних станцій, ремонту та обслуговування електро- і технологічного устаткування, експлуатації будівель і споруд. До складу комплексу входить також аналітична лабораторія, яка розташована на території МОСВ №1 та здійснює контроль згідно з вимогами прийнятих у 2010 р. «Правил приймання стічних вод споживачів у міську каналізацію м. Харкова», та виробничо-технічний відділ. По системі самотічних та напірних трубопроводів міські стоки, зібрані у колекторах, подаються до МОСВ №1 та МОСВ №2, загальною потужністю 1000 000 м³/добу – потужність станції №1 близько 700 000 м³/добу та потужність станції №2 близько 300 000 м³/добу. На МОСВ №1 розташована Головна каналізаційна насосна станція із потужністю 1 150 000 м³/добу перекачування, на МОСВ №2 - цех механічного зневоднення осаду.

Очищення стічних вод на МОСВ №1 та №2 відбувається за загальною схемою очистки стічних вод, наведеною вище. Після очищення вода потрапляє до річок Харкова Лопань та Уди. З 2004 р. також використовується автономна каналізація AQUATEC, яка стала важливим елементом системи очищення стічних вод Харкова та області. Станом на січень 2024 р. ці локальні очисні споруди обробляють понад 1,23 мільйона л стічних вод щодня, забезпечуючи очищення відходів приватних домогосподарств, шкіл та малих підприємств. Подібні локальні системи очищення доповнюють роботу централізованих міських станцій, відіграючи важливу роль у підтриманні екологічного балансу.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Одним із важливих джерел забруднення міських стічних вод, особливо органічними відходами, є харчові підприємства, зокрема молокопереробної галузі.

Особливостями стічних вод молокопереробних підприємств є джерела стічних вод, яке утворюється при митті обладнання (ємностей, трубопроводів, ліній виробництва), промиванні сировини (молока та інших інгредієнтів), виробничих скидів, що утворюються в процесі пастеризації, сепарації та фасування.

Основними забруднюючими речовинами таких стічних вод є: органічні сполуки (жири, білки, лактоза), мінеральні солі (залишки миючих засобів, фосфати, хлориди), біологічні забруднення (мікроорганізми, бактеріофаги), висока БСК (біохімічне споживання кисню) через високий вміст органічних речовин.

Без належного очищення стічні води молокопереробних підприємств можуть спричинити забруднення водойм органічними речовинами, що призводить до евтрофікації (цвітіння води), погіршення кисневого балансу у водних об'єктах, накопичення залишків миючих засобів у водних системах.

Тому більшість сучасних підприємств молокопереробної галузі впроваджують комбіновані системи очищення стічних вод. Для цього на стадіях попереднього очищення встановлюють жируловлювачі для видалення жирів і масел зі стічних вод та відстійники для видалення твердих частинок, які осідають на дно, на стадії основного очищення використовують біологічного очищення та для глибокого очищення фільтраційні системи для видалення дрібних суспендованих частинок і розчинених солей, а також озонування або ультрафіолетове знезараження, що забезпечує знезараження стічних вод перед скиданням у водойми. Органічні залишки після очищення осаджуються і використовуються як добрива або відправляються на утилізацію. Очищені води часто використовуються повторно для технічних потреб.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Молокопереробна галузь Харкова представлена кількома підприємствами, які виробляють молочну продукцію, зокрема молоко, сир, масло, йогурти та інші продукти. Ця галузь є важливим джерелом стічних вод, які можуть мати високий рівень органічного забруднення. Основні підприємства молокопереробної галузі Харкова включають такі компанії, як ТОВ «Балмолоко», ТОВ «Богодухівський молзавод», ПАТ «Великобурлуцький сироробний завод», ЗАТ «Золочівський молокозавод», ПАТ «Куп'янський молочноконсервний комбінат», ТОВ «С-Транс», «Харківський молочний комбінат» (ТОВ «Агросвіт»), ПАТ «Чугуївський молочний завод».

Очищення стічних вод молокопереробних підприємств є важливим кроком до збереження водних ресурсів та екологічного балансу Харкова. Як об'єктом для реалізації запропонованих рішень у цій роботі обрано Харківський молочний комбінат, який є одним із найстаріших і найвідоміших підприємств молокопереробної галузі України та, незважаючи на реалії сьогодення, продовжує працювати та впроваджувати нові технологічні рішення. Історія підприємства починається у середині ХХ століття, коли потреба в забезпеченні населення молочними продуктами в умовах інтенсивного зростання міста вимагала створення сучасного підприємства. Комбінат було відкрито в 1960-х роках як ключове підприємство для переробки молока та виробництва молочної продукції, у 1990-х роках, після здобуття Україною незалежності, комбінат був частково модернізований для адаптації до ринкових умов, у 2010-х роках підприємство впровадило нові технології виробництва та очищення, зосередившись на якості продукції та екологічній відповідальності. Для переробки молока використовуються автоматизовані лінії, що дозволяють забезпечити високу якість та гігієнічність продукції, на кожному етапі виробництва проводяться лабораторні перевірки на відповідність стандартам.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Підприємство використовує сировину власних ферм (Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю “АГРОСВІТ” (СТОВ “Агросвіт”) та Приватне акціонерне товариство “Підсереднє” (ПрАТ “Підсереднє”)) та співпрацює з фермерськими господарствами Харківської області, забезпечуючи контроль за якістю молока ще на етапі його виробництва.

Харківський молочний комбінат дотримується принципів якості, інновацій та сталого розвитку, тому велику увагу приділяє проблемі очищення стічних вод.

1.2 Характеристика забруднюючих речовин стічних вод молокопереробних підприємств

Молоко та продукти його переробки є одними із найважливіших, що надходять у торгівлю, через необхідність вживання щодня. Оскільки молоко є швидкопсувним продуктом, із міркувань громадського здоров'я та економіки важливо забезпечити споживачів якісною, чистою продукцією, вільною від патогенних бактерій. Для підтримання стандартів якості контроль якості необхідно проводити на всіх етапах виробництва молока, включаючи підтримку санітарних умов у місцях доїння, зберігання, транспортування, обробку молока на приймальних пунктах, переробку, пакування тощо до моменту доставки молока споживачеві.

Етапи переробки молока полягають у прийомі, зберіганні, фізико-хімічному аналізі, фільтрації, освітленні, частковому видаленні жиру (нормалізації), термічній обробці знежиреного молока (та/або вершків для виробництва), розливі, зберіганні та охолодженні. Для виробництва сиру молоко зазвичай згортають шляхом додавання ферменту хімозину, таким чином викликаючи осадження білкової маси, багатой казеїном. Супернатант,

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

отриманий у результаті цього процесу, широко відомий як сироватка. Близько 90 % молока, що використовується для виробництва сиру, перетворюється на сироватку, яка все ще містить органічні сполуки (зокрема, лактозу та інші білки) та поживні речовини. Якщо сироватку утилізувати без попередньої обробки, це може негативно вплинути на навколишнє середовище.

Вода використовується на всіх етапах виробництва як технологічна, так і в самому процесі, тому стічні води утворюються при санітарній обробці трубопроводів, ємностей, обладнання, підготовки приміщень, для охолодження, також утворюються як відходи виробництва.

У зв'язку з великим обсягом промислового виробництва молока та його переробок очищення стічних вод, що утворюються на таких підприємствах, стає обов'язковим. На рис. 1.5 показано деякі етапи утворення стічних вод у молочній промисловості при утворенні молока як готового продукту.

Склад стічних вод молокопереробного підприємства також залежить від видів продукції, що ним випускається. Так, стічні води виробництва сиру містять велику кількість вуглеводів і білків, тоді як стічні води виробництва масла містять більше ліпідів. Загалом стічні води молочних заводів, окрім олій і жирів, містять поживні речовини, а також розчинені та зважені органічні речовини. Якщо утилізувати без належного очищення такі стічні води, які багаті органічними речовинами, вони біологічно розкладаються у водоймах, таким чином зменшуючи концентрацію кисню.

Оскільки стоки містять велику кількість поживних речовин (азоту та фосфору), це може викликати евтрофікацію, тобто ще один ефект, який також ставить під загрозу виживання риб та інших аеробних організмів. Молочні стічні води швидко розкладаються та знижують рівень розчиненого кисню у воді, що призводить до створення анаеробних умов і виділення сильних неприємних запахів через неприємні умови. Також висока концентрація молочних відходів є токсичною для деяких сортів риби та водоростей. Казеїновий осад із відходів також токсичний для риб. Молочні стоки містять

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

розчинну органіку, зважені тверді речовини, сліди органіки. Вони зменшують вміст, сприяють виділенню газів, викликають смак і запах, надають колір або каламутність, сприяють евтрофікації. Ці відходи можуть спричиняти значне забруднення водних ресурсів через високий вміст кисневопоглинаючих речовин, отже ефективна система очищення стічних вод є критично важливою для кожного молокопереробного підприємства.

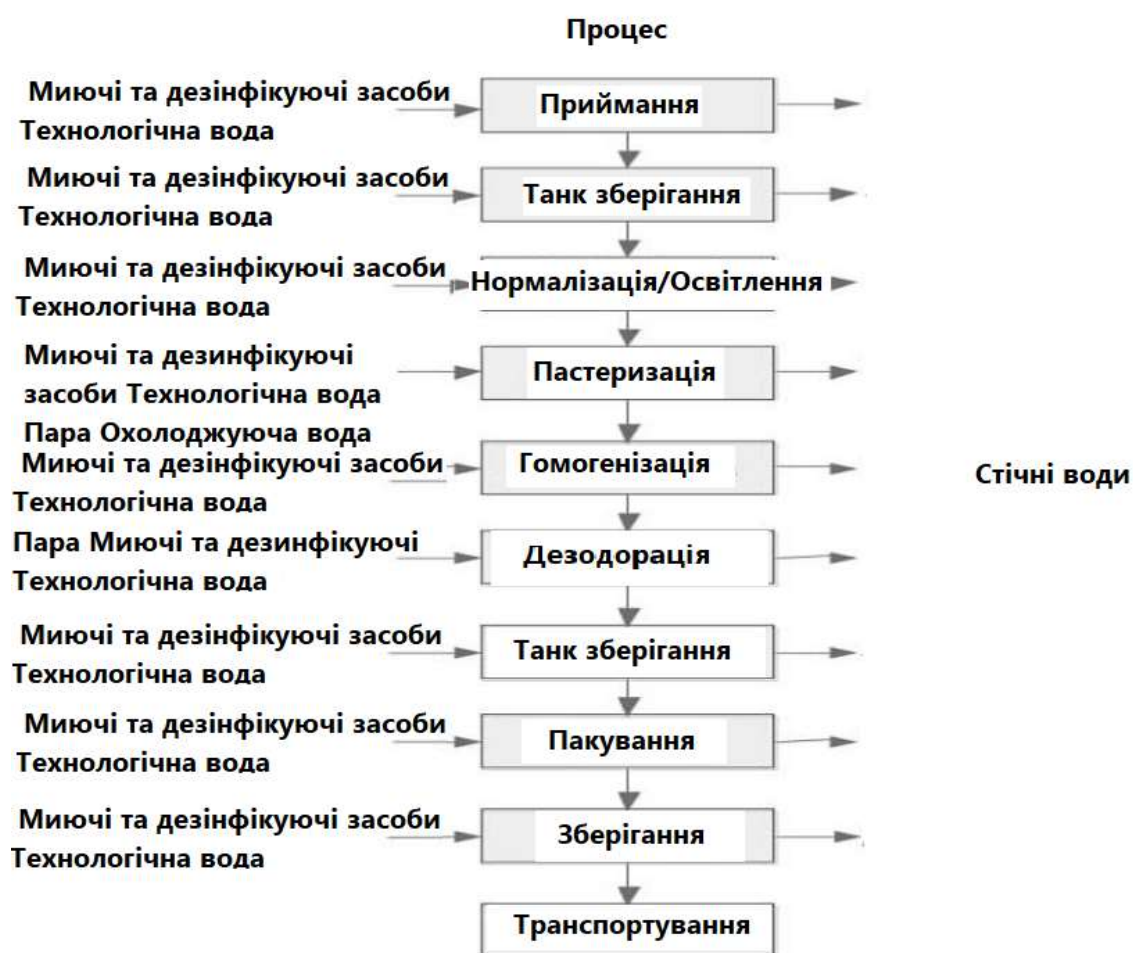


Рис. 1.5 - Етапи утворення стічних вод у молочній промисловості

На підприємствах молокопереробної галузі вода застосовується для миття обладнання, трубопроводів і тари, очищення підлог та стін виробничих приміщень, охолодження молока і молочних продуктів, а також забезпечення роботи технологічного обладнання, парових систем і побутових потреб.

Частина води використовується для відновлення сухого молока та входить до складу готової продукції.

Об'єм споживання та склад стічних вод молочних підприємств залежать від обсягів виробництва, асортименту продукції та використовуваних технологій, також напряму залежать від використовуваної системи водопостачання. Водопостачання здійснюється з міських або власних джерел, а для технологічних потреб використовується вода питної якості. Технічна вода може застосовуватися для охолодження обладнання, миття транспортних засобів і поливу території.

Системи водопостачання на молочних заводах зазвичай складаються з прямоточного, оборотного і повторного використання води. Наприклад, оборотні системи забезпечують охолодження вакуум-апаратів та холодильного обладнання. Об'єм стічних вод становить близько 80-85% від споживаної свіжої води, при цьому нормативне водоспоживання коливається в межах 3-4 м³ на тонну переробленого молока.

Забруднені стічні води складають 20-50% загального об'єму і утворюються внаслідок втрат молока, використання мийних засобів та забруднень із поверхонь обладнання, підлог і тари. Незабруднені стічні води можуть використовуватися повторно, залежно від технологічного процесу, а їхній обсяг становить 15-2500 м³/добу.

Для зменшення забруднень необхідно впроваджувати технології мінімізації втрат молока та продуктів, такі як утилізація сироватки, повторне використання мийних розчинів та відокремлення жирних стоків. Молочна промисловість виділяється високими показниками утворення стічних вод – від 0,2 до 10 літрів на літр переробленого молока. Склад і об'єм стічних вод значно варіюються залежно від асортименту продукції та використовуваних технологій.

Одним із найзабруднюючих компонентів є солодка молочна сироватка, багата на органічні речовини, такі як лактоза, білки, фосфати та нітрати. Такі

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стічні води мають високе біологічне (БСК) та хімічне (ХСК) споживання кисню, що значно перевищує показники побутових стоків.

Отже, показники стічної води та концентрацій забруднюючих речовин в стічних водах підприємств молокопереробної галузі досить високі, серед яких найбільш характерні для молочної галузі, є значення температури та рН стоків, ХСК, БСК, завислі речовини, жири, загальний азот, хлориди, фосфати, синтетичні поверхнево-активні речовини.

Температура стоків коливається від 16 до 33 °С, причому в літній період вона може досягати 20-25 °С, усереднене значення влітку – 20-25 С, взимку – 17-18 С.

Рівень рН стічних вод залежить від характеру виробництва – для кисломолочних продуктів він може знижуватися до 6,2, тоді як у виробництві масла та консервів становить 6,8-7,4. Значні коливання рН викликаються використанням кислотних і лужних мийних засобів.

Зважені речовини в стоках представлені залишками молочних продуктів, такими як молочна плівка, сирні зерна, а також іншими домішками, включаючи ґрунт і пісок. До 90% таких речовин мають органічне походження.

Концентрація жирів у стоках залежить від асортименту продукції: для виробництва вершків та масла вона значно вища, ніж для інших молочних продуктів.

Загальний азот і фосфор у стоках утворюються внаслідок використання мийних засобів та втрат молока. Вміст азоту варіюється від 50 до 90 мг/л залежно від типу виробництва, а концентрація фосфору становить 0,6-0,7% від БСК. Концентрація хлоридів також висока (150-200 мг/л), що дає можливість застосовувати електрофлотацію при очищенні стоків.

Таким чином, ефективне очищення стічних вод молочних заводів потребує комплексного підходу, який враховує склад стоків, їхній обсяг, температуру, рН та вміст забруднюючих речовин.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Бачимо, що проаналізовані показники для стічних вод підприємств молокопереробної галузі досить високі, тоді як згідно з вимогами «Правил приймання стічних вод споживачів у каналізаційну мережу м. Харкова» допустимі величини показників скидів стічних вод до міських очисних споруд водовідведення МОСВ №1 та МОСВ №2 (табл. 1.1) для деяких показників майже у 10 разів нижчі.

Таблиця 1.1 - Допустимі величини показників якості для стічних вод, що надходять для очищення на МОСВ №1 та МОСВ №2

№	Найменування показників	Величина показників, мг/дм ³
1	рН	6,5-9
2	ХСК	ХСК не повинна перевищувати БПК5 більш ніж в 2,5 рази
3	БСК ₅	300
4	Завислі речовини	300
5	Нафта і нафтопродукти	5,0
6	Жири	6,0
7	Азот амонійний	18,0
8	Нітрити	3,3
9	Нітрати	45,0
10	Сульфати	400*
11	Хлориди	350
12	Фосфати	6,0
13	Сульфід	1,0
14	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	0,5
15	Фенол	0,039 (МОСВ №1) / 0,13 (МОСВ №2)
16	Залізо (загальне)	2,0
17	Мідь	1,0
18	Хром ³⁺	0,13
19	Хром ⁶⁺	0,13
20	Цинк	0,5
21	Нікель	0,2

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

Об'єктом роботи є стічні води молокопереробного підприємства, які після очищення направляються до міських очисних споруд водовідведення. У роботі пропонується організувати стадію біологічного очищення після стадії флотації за рахунок встановлення аеротенка, що дозволить повторно використовувати стічні води, що є найбільш екологічно та економічно ефективним варіантом для крупних підприємств. Слід зазначити, що у випадку використання очищеної води для власного використання вона повинна відповідати показникам води водопровідної та відповідати мікробіологічним показникам.

Основні показники стічної води підприємства до очищення та після очищення (середні значення), що перевіряється лабораторією підприємства, при наявності існуючої системи на підприємстві у порівнянні з нормами скиду до міських очисних споруд водовідведення м. Харкова наведені у табл. 2.1.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 2.1 – Основні показники стічної води підприємства

№	Найменування показників	Величина показників, мг/дм ³		
		до очищення на підприємстві	після очищення на підприємстві	норматив
1	pH	5,5-7,2	6,5-7,5	6,5-9
2	ХСК	450	40	ХСК не повинна перевищувати БПК ₅ більш ніж в 2,5 рази
3	БСК ₅	555	120	300
4	Завислі речовини	285	55	300
6	Жири	38	5	6,0
7	Азот амонійний	25	3,5	18,0
8	Нітрити	0,5	0,05	3,3
9	Нітрати	10,5	5	45,0
12	Фосфати	5,5	2,5	6,0
14	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	7,7	0,5	0,5

2.2 Характеристика сировини

Для проведення комплексного процесу очищення стічних вод підприємства використовують ряд реагентів – натрію гіпохлорид, заліза хлорид, кальцію гідроксид, як вхідна сировина – стічна вода підприємства, що надходить на очищення, напівпродуктами є зневоднений осад та пісок, що утворюються на стадіях механічної очистки.

Найменування	Категорія та номер НТД	Показники НТД, обов'язкові для перевірки	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина:			
Вода стічна неочищена	Сертифікат лабораторії підприємства	pH, ХСК, БСК, завислі речовини, жири, азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати, СПАР	До системи очищення
2. Допоміжна сировина та матеріали:			
Вода водопровідна	ДСТУ 7525:2014	Мікробіологічні, радіаційні, органолептичні, хімічні, токсикологічні згідно з ДСТУ	на технологічні цілі, розбавлення, промивання
Хлорид заліза			коагулянт
3. Напівпродукти:			
Зневоднений осад		Вологість	на переробку
Пісок		Вологість	на переробку
Активний мул		Активність	на регенерацію

2.3 Характеристика біологічних об'єктів

2.3.1 Якісний склад активного мула

Активний мул – це штучно створена екосистема, система антропогенно залежна, яка знаходиться під впливом постійно змінних впливів абіотичних та біотичних факторів. Культивування активного мула в обмеженому просторі аеротенків, в умовах великої кількості кисню та досить високої трофності через високе навантаження по органічним речовинам, а також при наявності високого вмісту забруднюючих речовин, зокрема токсикантів, призводить до формування співтовариства, яке суттєво відрізняється від природних екосистем. У активному мулі строго розділені функції окремих популяцій, що входять до його складу, причому вони мають високі адаптаційні властивості, що отримали переваги у результаті селекції та відбору.

У активному мулі наявні всі основні фізіологічні групи мікроорганізмів, що забезпечують розкладання вуглецю, нітрогену, фосфору, сірки та інших елементів. Особливістю активного мула є відсутність в ньому ланцюга первинних продуцентів (за виключенням хемоавтотрофних бактерій), оскільки органічна речовина потрапляє зі стічними водами у готовому вигляді. А у природних біоценозах роль первинних продуцентів відведена рослинам. У процесах деградації забруднюючих речовин в аеротенках головна роль належить гетеротрофним флокулоутворюючим бактеріям. Осмотротрофні найпростіші також приймають участь у цьому процесі, але їхня роль посилюється лише при послабленні розчинених органічних сполук, у випадку загибелі або пригніченні флокулоутворюючих гетеротрофних бактерій, або при надлишку органічної речовини.

Флокулоутворюючі бактерії – це співтовариство клітин мікроорганізмів, об'єднаних біополімерним гелем, добре захищене та організоване у структурно-функціональне ціле – пластівці активного мула. Популяція таких

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

бактерій в мулі складає 90-95 %, тому саме їхні функціональний стан, активність та адапційні властивості до екологічних умов аеротенків визначають стійкість та ефективність біохімічного окиснення забруднюючих речовин, наявних у стічних водах.

У біоценозах активного мула розвиваються такі представники відділів мікрофлори – бактерії, гриби, актиноміцети, діатомові, зелені, евгленові, вольвоксові мікроводорості, а також представники таксономічних груп найпростіших та багатоклітинних тварин – джгутиконосці, саркодові, інфузорії, первиннопорожнинні, вториннопорожнинні та кишкорожнинні черви, коловертки, тихохідки, павукоподібні, зокрема водні кліщі. В основному роль найпростіших полягає у стимулюванні росту флокулоутворюючих бактерій, підвищенні прозорості надмулової води за рахунок інтенсивного виїдання бактерій, що не включенні до пластівців мула, а тому є найдоступнішими. Також протозоа виділяють біологічно активні речовини, які мають стимулюючу дію на фізіологічну активність бактерій.

Активний мул представляє собою складну екологічну систему, організми якого знаходяться на різних трофічних рівнях. Гетеротрофні бактерії, водорості, сапрофітні гриби та сапрофітні найпростіші – первинні споживачі – складають перший трофічний рівень. Голозойні найпростіші – другий, а окремі представники нематод, хижі коловертки, смокчучі інфузорії, тихохідки, хижі гриби – третій трофічний рівень. Деякі представники найпростіших та багатоклітинних тварин активного мула наведено на рис. 2.1, водорості із бактеріями – на рис. 2.2.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

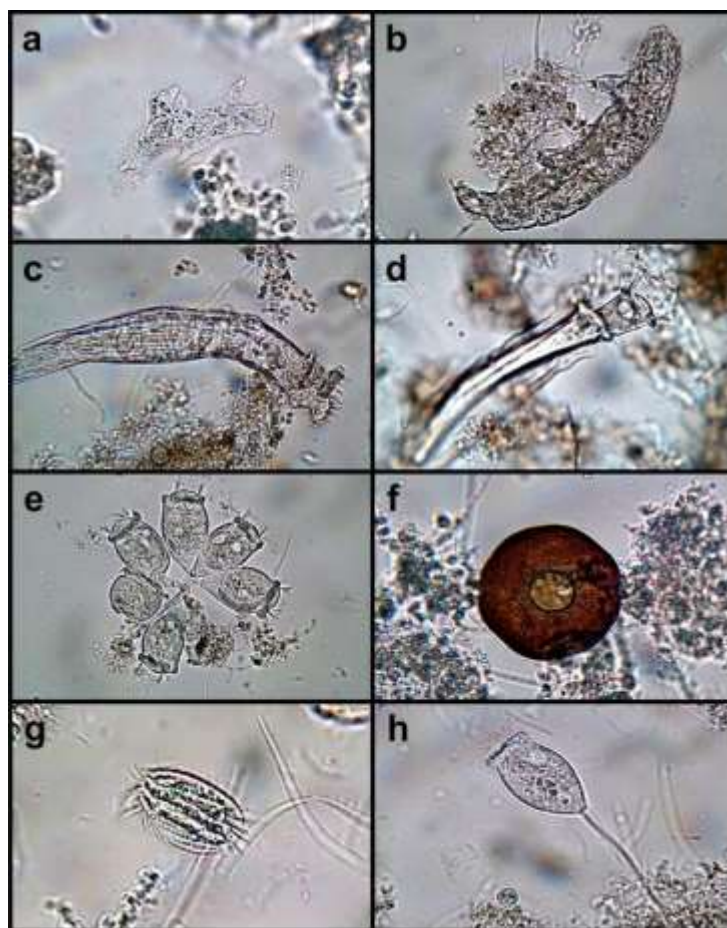


Рис. 2.1 - Типові представники протозоа (найпростіших) і метазоа (багатоклітинних тварин)

a: *Saccamoeba* sp. b: *Tardigrada* c: *Rotaria* sp. d: *Thuricolia foliculata*
e: *Epistylis* sp. f: *Arcella* sp. g: *Aspidisca* sp. h: *Vorticella* sp.



Рис. 2.2 – Водорості та бактерії пластівців активного мулу

Спосіб харчування організмів активного мула визначає їхнє структурне положення в біоценозі та характер взаємовідносин. Переважання певної групи організмів з певним типом харчування може вказувати на процеси структурних змін в біоценозі і дозволяє визначити можливі зміни екологічних умов проживання активного мула.

Сапрофітний спосіб харчування характеризується тим, що харчові речовини потрапляють до організму осмотично через поверхню тіла. Їжею може слугувати тільки розчиненні і частково розкладені органічні речовини, наприклад, проміжні продукти розпаду білків – пептон або амінокислоти. Ці речовини споживають сапрозойні найпростіші і бактерії, між ними існує конкуренція за харчові речовини, що відображається на структурних особливостях біоценозу активного мула. У активному мулі, як і в природних біоценозах, при наявності у середовищі двох груп організмів, що споживають один і той самий субстрат, організми з більшою швидкістю росту і з більшою здатністю споживати субстрат витісняють конкурентну групу. Бактерії у порівнянні із сапрозойними найпростішими мають переваги за субстрат. Найменший розмір клітин бактерій, більша поверхня дотику з харчовими речовинами, набагато менший час на відтворення у більшості бактерій – основні переваги перед найпростішими. При нарощуванні активного мула у перші тижні роботи аеротенка, коли харчових компонентів ще багато, а біомаса бактерій незначна, сапрозойні найпростіші здатні розвиватися разом з бактеріями, але потім вони починають витіснятись бактеріями. У звичайних умовах експлуатації аеротенків періодичне підвищення чисельності сапрозойних найпростіших в біоценозі свідчить про пригнічення ланцюга флокулоутворюючих бактерій.

Флокулоутворюючі бактерії активного мула представлені трьома морфологічними групами бактерій - паличками, коки та спірилами, основна маса (84 – 98 %) бактерій у пластівцях – паличкоподібні форми довжиною від 0,6 до 3,0 мкм. Коки представлені клітинами діаметром 0,6 мкм, поодинокі

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

можуть зустрічатись крупні до 1,5 кмк. Часто, але у невеликих кількостях, у пластівцях зустрічаються спірили розміром від 4 до 6 мкм (менше 1 %).

В активному мулі на спорудах біологічного очищення бактерії існують у вигляді компактної або пухкої маси, утворюючи скупчення – флокули або пластівці мула (рис. 2.3, 2.4).

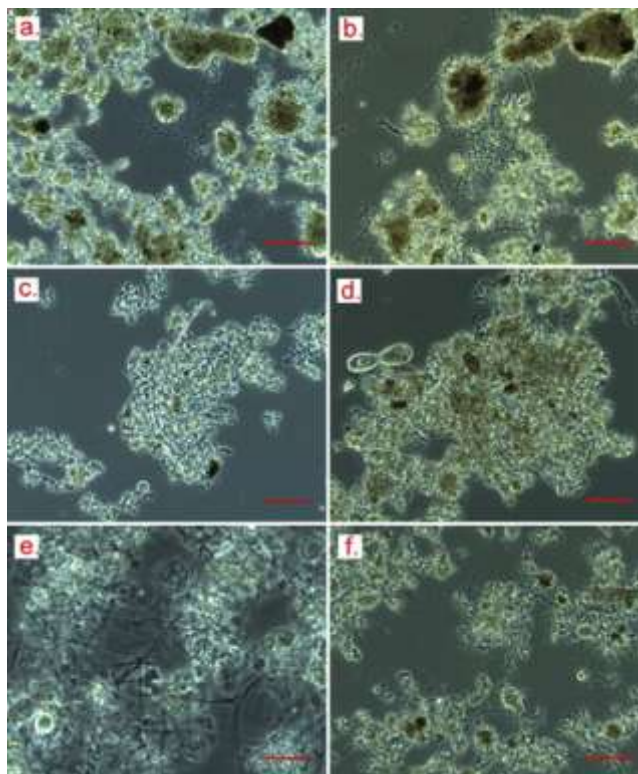


Рис. 2.3 – Пластівці активного мула

Значна частина мікробної популяції зв’язана із пластівцями активного мула, але при дії токсичних стічних вод або порушенні режиму ведення біологічного очищення пластівці диспергують.

Особлива форма флокуляції бактерій називається зооглеями. Вони розрізняються за формою: можуть бути шароподібною, гроноподібною, деревоподібною із широкими лопатями або представляти вузькі тяжі. Розвиток та характер зооглей залежить від якості стічних вод, що поступають до аеротенку, та параметрів процесу очищення.

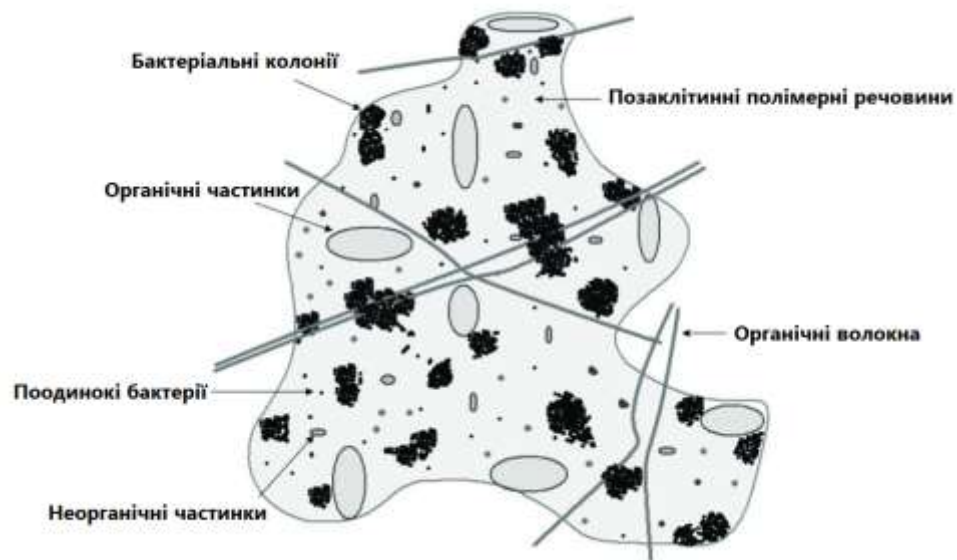


Рис. 2.4 – Складові компоненти пластівців активного мула

Зооглеї являють собою драглеподібну масу екзобіополімерного гелю із вкрапленнями бактеріальних клітин шароподібної форми (розмір 0,5-1,0 мкм) або паличкоподібної форми (довжина 1-5 мкм).

Вузькі тяжі або деревоподібні лопаті *Zoogloea ramigera* (рис. 2.5) та велике продукування біополімерного гелю можуть призвести до порушення седиментаційної здатності мула при значному накопиченню зооглеї в активному мулі.

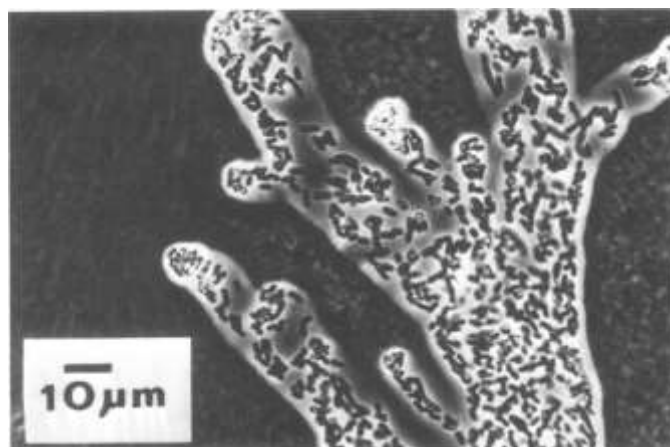


Рис. 2.5 - Деревоподібні лопаті *Zoogloea ramigera*

В активному мулі ідентифіковані бактерії великої кількості родів, але, як правило, визначення їхньої родової приналежності не має великого значення. Зазвичай виділяється декілька основних груп – вуглецеокиснювачі флокулоутворювачі, вуглецеокиснювачі нитчасті та нітрифікуючі, фосфор- та сіркоокиснюючі бактерії.

Особливу увагу у якісному складі активного мула слід приділяти нитчастим бактеріям (рис. 2.6), які викликають спухання при надлишковому розвитку, коли вони займають нішу флокулоутворюючої мікрофлори у випадку витіснення їх несприятливими екологічними умовами – наявністю токсичних речовин або високої концентрації легкоокиснюючих забруднюючих речовин або нестача біогенного харчування у стічних водах.

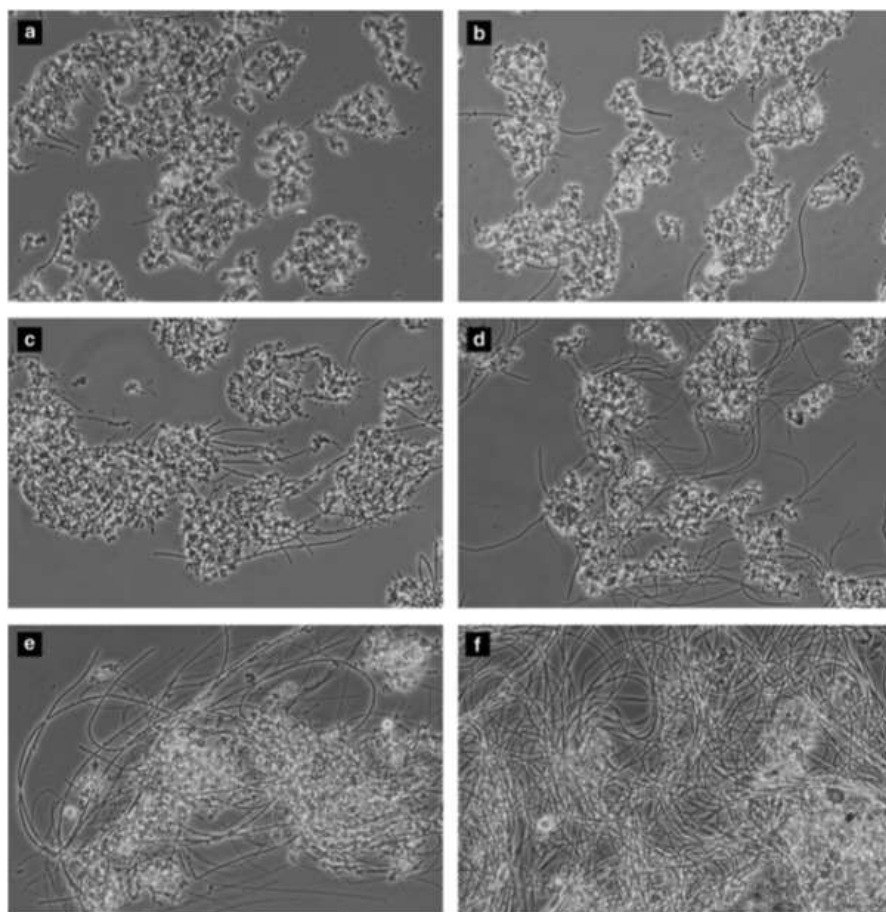


Рис. 2.6 – Ниткоподібні форми бактерій в активному мулі

Нитчаста структура – з'єднання нерухомих клітин різної форми в нитки, прості або розгалуженні. Подовження ниток відбувається за рахунок поперечного ділення клітин. Нитка одягнута оболонкою із слизем. За рахунок виділення слизу нитчасті бактерії часто рухомі, а за характером руху можна визначити рід бактерій. Наприклад, ціанобактерії роду *Oscillatoria* виконують коливальні руху кінцем нитки з боку в бік, яке супроводжується обертом нитки або поступальним рухом. Хламідобактерії роду *Beggiatoa* рухаються переднім кінцем нитки вперед або петлеподібно. За рахунок більш повільного споживання субстрату хламідобактерії є більш толерантні до високого вмісту розчинених органічних забруднюючих речовин та більшою стійкістю до токсикантів. Стійкість токсикантів особливо виражена у ціанобактерій та сіркобактерій. Отже при впливі токсикантів порушається флокуляція пластівців мула та порушається система утворення біополімерного гелю клітинами флокулоутворюючих бактерій, що підвищує проникнення токсикантів до клітин бактерій. За цих умов хламідобактеріобактерії, які являють собою багатоклітинні організми із полісахаридним чохлам, краще виживають, так як чохол є додатковим захисним фактором. Ще одним фактором, що надає хламідобактеріям конкурентних переваг є те, що вони представляють тонкі нитки діаметром 1-60 мкм, тому вони добре забезпечуються киснем.

До хламідобактерій відносяться сіркобактерії, які здатні окиснювати мінеральні сполуки сірки, наприклад роди *Beggiatoa*, *Leucothrix*, *Thiothrix*. Найбільш активний їхній розвиток спостерігається в активному мулі аеротенків з високим навантаженням та при наявності у стічних водах токсикантів, зокрема міді та цинку, а також наявності відновлених сполук сірки.

Нитчасті бактерії роду *Sphaerotilus*, які також відносяться до хламідобактерій, найбільш часто зустрічаються в звичайному активному мулі.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

В активному мулі також зустрічаються фототрофні прокаріоти – ціанобактерії *Cyanobacterium* з трихомною будовою ниток, які ззовні одягнуті слизовим чохлам. В активному мулі ціанобактерії переходять до гетеротрофного харчування. Найчастіше це бактерії родів *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc*, *Oscillatoria*. Ціанобактерії, як і хламідобактерії, стійкі до дії несприятливих факторів та токсикантів, тому можуть досягати високої чисельності та сприяти спуханню, обидві групи є важливими індикаторними організмами активного мула.

Отже перелічені групи бактерій відносяться до первинних споживачів, що складають перший трофічний рівень у аеротенках. З часом, коли кількість розчинених харчових речовин зменшується в результаті надлишкової кількості бактерій, створюються умови для появи голозойних мікроорганізмів. Голозойний тип – це другий тип гетеротрофного харчування, при якому організми отримують їжу (білки, жири, вуглеводи), споживаючи цитоплазму інших організмів, використовуючи органоїди для захвату їжі. Одними з перших голозойних в біоценозі активного мула з'являються дрібні джгутикові родини *Vodo*, захват їжі в яких здійснюється за допомогою органів руху – джгутиків. Всередину їжа потрапляє через харчовий бугорок – ділянку голої цитоплазми, що розташована у основи джгутика, який за допомогою водоверті, яка їм викликається, підганяє харчові частинки (бактерії, колоїди) до харчового бугорка. Харчові частинки потрапляють до харчової вакуолі, де відбувається їхнє засвоєння.

Саркодові (амеби) та війкові (інфузорії) активного мула також мають голозойний тип харчування, але воно здійснюється в них іншими органами. Голі саркодові утворюють псевдоподії і захоплюють їжу, обтікаючи її своїм тілом (фагоцитоз). Розчинні речовини стічних вод поглинаються ними через певні ділянки клітинної мембрани, а не безперервно через всю поверхню, як це характерно для організмів із сапрозойним типом харчування. Голозойне харчування інфузорій відрізняється будовою харчової системи. В них є

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

ротівий отвір, глотка, по якому їжа підганяється війками. Вони харчуються бактеріями, детритом, найпростішими. Серед вільних інфузорій до хижаків відносяться родини *Litonotus*, *Amphileptus*.

Смокчучі інфузорії – типові хижаки активного мула. Їхній ротівий апарат вторинно редукований і замінений органоїдами, що адаптовані до хижацького харчування, вони мають смокчучі щупальця. До своєї жертви інфузорії прикріплюються голкоподібних крист, попередньо впливає на здобич отруйними речовинами, та одночасно висмокчуючи рідку ендоплазму.

Коловертки харчуються бактеріями, органічним детритом, а хижі види різними найпростішими за допомогою травної системи, яка складається з глотки із жувальним апаратом, стравоходу, шлунку. Черви мають вже добре розвинену травну систему, але харчуються в основному муловими частинками, сприяючи мінералізації активного мула. Серед малощетинкових червів багато хижаків.

2.3.2 Кількісний склад активного мулу

Аеротенк являє собою надзвичайно складну динамічну систему, що створює можливості для розвитку в активному мулі різноманітних мікроорганізмів, концентрація яких досягає 10^{10} - 10^{11} клітин в 1 см^3 , що дозволяє отримувати доволі суттєву «біологічну потужність» окиснення розчинених органічних сполук. При очистці стічних вод змішаного складу, яка поступає на міські споруди біологічної очистки, чисельність бактерій у неочищених стічних водах досягає 10^6 у 1 см^3 . Стічні води містять суміш різноманітних кишкових, патогенних бактерій, що потрапляють з побутових вод, ґрунту, повітря у вигляді живих бактеріальних клітин та їх спор. Частина їх гине в системі очистки, частина поповнюється за рахунок зворотного мула, а основна частина співтовариства формується безпосередньо в аеротенку.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В освітлених водах в умовах первинних відстійників чисельність бактерій суттєво збільшується за рахунок інтенсивного розмноження і складає $0,4-1,0 \times 10^8$ КУО/см³, а їх біомаса коливається в межах 15-45 мг/дм³.

Кількість бактерій в водах, що поступає на очистку з первинних відстійників і в початковій зоні аеротенків, характеризує ступінь зараження стічних вод мікрофлорою. При різкому скороченні чисельності алохтонних мікроорганізмів можна казати про стерилізуючу дію стічних вод при токсичних викидах або наявності специфічних забруднювачів.

В активному мулі аеротенків чисельність бактерій складає $2,1-2,4 \times 10^9$ КУО/см³, а біомаса – 900-1000 мг/см³ та значно перевищує біомасу, що зустрічається у природних середовищах. Така значна маса живих клітин забезпечує високі швидкості окиснення забруднюючих речовин. У зворотному мулі маса бактерій досягає критичної щільності, за рахунок концентрування у вторинних відстійниках їхня чисельність складає $3,6-7,2 \times 10^9$ КУО/см³, а біомаса 1550-3100 мг/дм³. Чисельний вміст бактерій в очищених водах пов'язано із масою мула, що виноситься із вторинних відстійників, і в нормі складає $0,12-0,35 \times 10^8$ КУО/см³ при біомасі 5-15 мг/дм³.

Ці кількісні дані справедливі для нормального процесу очищення. При його порушеннях можливі суттєві відхилення від норми. Слід також зауважити, що якісний та кількісний склад біоценозу активного мулу має не тільки змінний склад від складу стічних вод та умов проведення процесу, а також регіональну та географічну залежність.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.4 Біосинтез цільового продукту

Вищенаведена інформація про якісний та кількісний склад біоценозу активного мулу свідчить про його надзвичайну різноманітність і, відповідно, про різноманітність метаболічних процесів, пов'язаних із життєдіяльністю мікрофлори мулу, в ході якої відбувається розкладання забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах.

Метаболізм - це сукупність біохімічних процесів, які використовуються для руйнування органічних сполук (катаболізму) і створення протоплазми клітини (анаболізму). Ці процеси перетворюють хімічно пов'язану енергію в енергетичні форми, які можна використовувати для процесів підтримки життя. Катаболізм окислювальний, екзотермічний процес деградації, який призводить до вивільнення вільної енергії зі структури великих органічних молекул. Частина вивільненої енергії використовується для будівництва нового клітинного матеріалу. Анаболізм - це процес синтезу, який призводить до збільшення розміру та ускладнення органічної хімічної структури.

Аеробні та анаеробні гетеротрофні мікроорганізми використовують процес бродіння для відновлення складних органічних сполук до простих органічних форм. Гетеротрофи - мікроорганізми, які використовують органічний вуглець для утворення нової біомаси. Ці організми є споживачами та розкладачами, і тому залежать від легкодоступного джерела органічного вуглецю для клітинного синтезу та хімічної енергії. Вони є основними робочими конячками в окисленні розчинної речовин під час очищення стічних вод.

Для процесів очищення, що відбуваються в аеротенках, процеси метаболізму пов'язані із аеробним диханням (рис. 2.7). Завдяки процесу дихання аеробні мікроорганізми трансформують біодоступні органічні сполуки на вуглекислий газ, воду та енергію.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

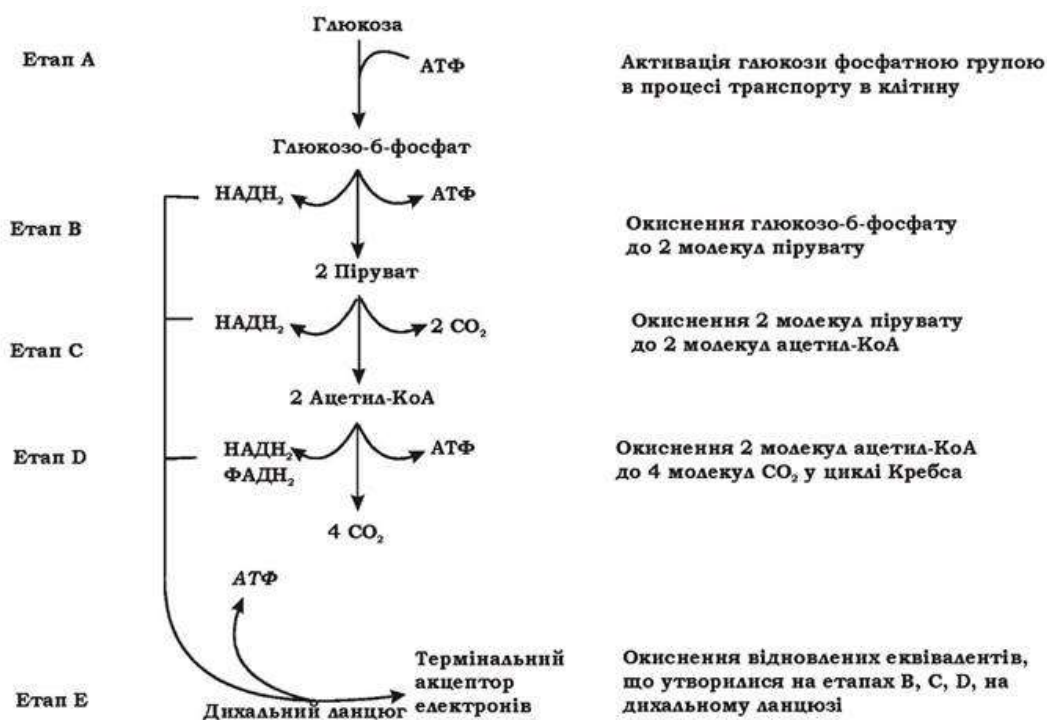
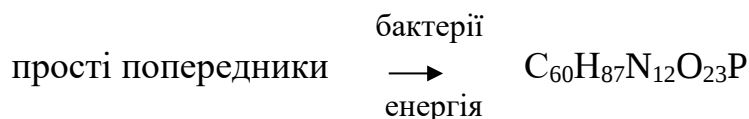


Рис. 2.7 - Етапи катаболічного перетворення гексоз у мікробній клітині (аеробні хемоорганотрофи)

У складі стічних вод органічні сполуки знаходяться у легкодоступній формі. Оскільки аеробні мікроби можуть легко перетворювати біодоступний органічний вуглець у неорганічний вуглець, аеробні системи можуть забезпечити високу швидкість очищення стічних вод.

Біосинтез є найбільш складною і життєво необхідною енергетичною діяльністю всіх живих організмів. Загальне рівняння процесу біосинтезу можна представити як:

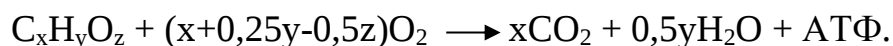


Як видно з цього рівняння, клітинний склад можна представити як $\text{C}_{60}\text{H}_{87}\text{N}_{12}\text{O}_{23}\text{P}$. Якщо не враховувати фосфор, основний склад клітини часто записують як $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$. Важливо підкреслити, що клітинні компоненти беруться з потоку стічних вод і, таким чином, багато компонентів стічних вод перетворюються на нові клітини.

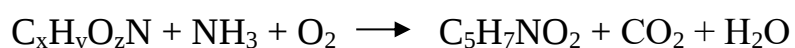
Дві основні реакції, які відбуваються в циклі органічного вуглецю, - це біологічне окислення відпрацьованої органічної речовини та фотосинтез. Через процес біологічного окислення аеробні мікроорганізми використовують кисень для розщеплення органічних речовин до вуглекислого газу та води разом з невеликою кількістю інших кінцевих продуктів. Процес біологічного окиснення можна представити наступним рівнянням:

органічні речовини стічних вод (первинні С, Н, О) + $O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + АТФ$

Отже, процес катаболізму мікроорганізмів, який забезпечує повну мінералізацію органічної речовини стічних вод бактеріальною клітиною, можна представити наступним рівнянням:



Анаболізм мікробної клітини при використанні амонійного азоту можна навести наступним чином:



В цьому випадку мікробна клітина активного мула надалі мінералізується:



					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

У цьому розділі наведемо розрахунок продуктивності пропонованих очисних споруд підприємства. Розрахуємо проектну продуктивність очисних споруд на підприємстві, виходячи із максимально значення загальних водопотреб. Середні значення водопотреб складають 3-4 м³ на 1 т молока, що переробляється. Враховуючи високий ступінь повторного та оборотного використання води на підприємстві, як значення потреб у воді обрано 3 м³/т молока. На добу Харківський молочний комбінат переробляє 150 т молока, отже фактичні питомі витрати споживаної води 450 т. Кількість забрудненої стічної води – до 50 % загального стоку, з яких 10 % складають господарсько-побутові.

Харківський молочний комбінат випускає різні види молочної, кисломолочної продукції, сирів та масло вершкове, використовуючи різні види добавок, тому забруднення - різноманітні (описано у розділі 1). Для зниження кількості забруднення на підприємстві впроваджені заходи по зменшенню витрат сировини і продукції, які включають використання автоматизованих систем, зокрема системи СІР для миття трубопроводів та обладнання із поверненням миючих розчинів для повторного, зниження скидів сироватки шляхом її переробки, обробка розсолів задля їхнього вторинного використання на технологічні потреби, сепарацію води після миття обладнання на виробництвах жирної продукції.

Отже:

середньодобова витрата стічної води на підприємстві – $Q_d=450 \text{ м}^3/\text{доб}$,
середньогодинна - $Q_g=7,5 \text{ м}^3/\text{год}$,
середньосекундна - $Q_c=0,125 \text{ м}^3/\text{с}$.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок і вибір обладнання

Основну функцію очищення стічних вод від органічних і біогенних елементів виконує аеротенк (станція штучної біологічної очистки), обладнаний системою аерації. Зазвичай вони виконуються у вигляді довгих залізобетонних резервуарів (коридорів) глибиною 3-6 м та шириною 6-10 м. Освітлена рідина, що надходить в аеротенк, змішується з активним мулом.

Сучасні аеротенки - гнучкі в технологічному відношенні споруди, вони успішно застосовуються для повного та часткового очищення багатьох видів виробничих стічних вод у широкому діапазоні концентрацій забруднень та витрат стічних вод.

Аеротенки можна класифікувати за такими основними ознаками:

- за гідравлічним режимом (аеротенки-витіснювачі, аеротенки-змішувачі та аеротенки проміжного типу);
- способу регенерації активного мулу (з окремими регенераторами і суміщені);
- навантаженням на активний мул (високонавантажувані, звичайні та низьконавантажувані);
- кількості щаблів очищення (одно-, дво- та багатоступінчасті);
- режиму введення стічної рідини (проточні та контактні зі змінним робочим рівнем);
- конструктивним ознакам (прямокутні, круглі, комбіновані, протиточні, шахтні, фільтротенки, флототенки);
- типу систем аерації (з пневматичними, механічними, гідродинамічними та пневмомеханічними аераторами).

Аеротенки-витіснювачі є коридорними спорудами, в яких стічні води проходять послідовне очищення без повного змішування з усім обсягом рідини у резервуарі. В аеротенках цього типу глибина очищення стічних вод є

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функцією відстані, пройденої рідиною від точки впуску. Однак такий режим практично здійснимо тільки при співвідношенні загальної довжини коридору аеротенку до ширини понад 30:40.

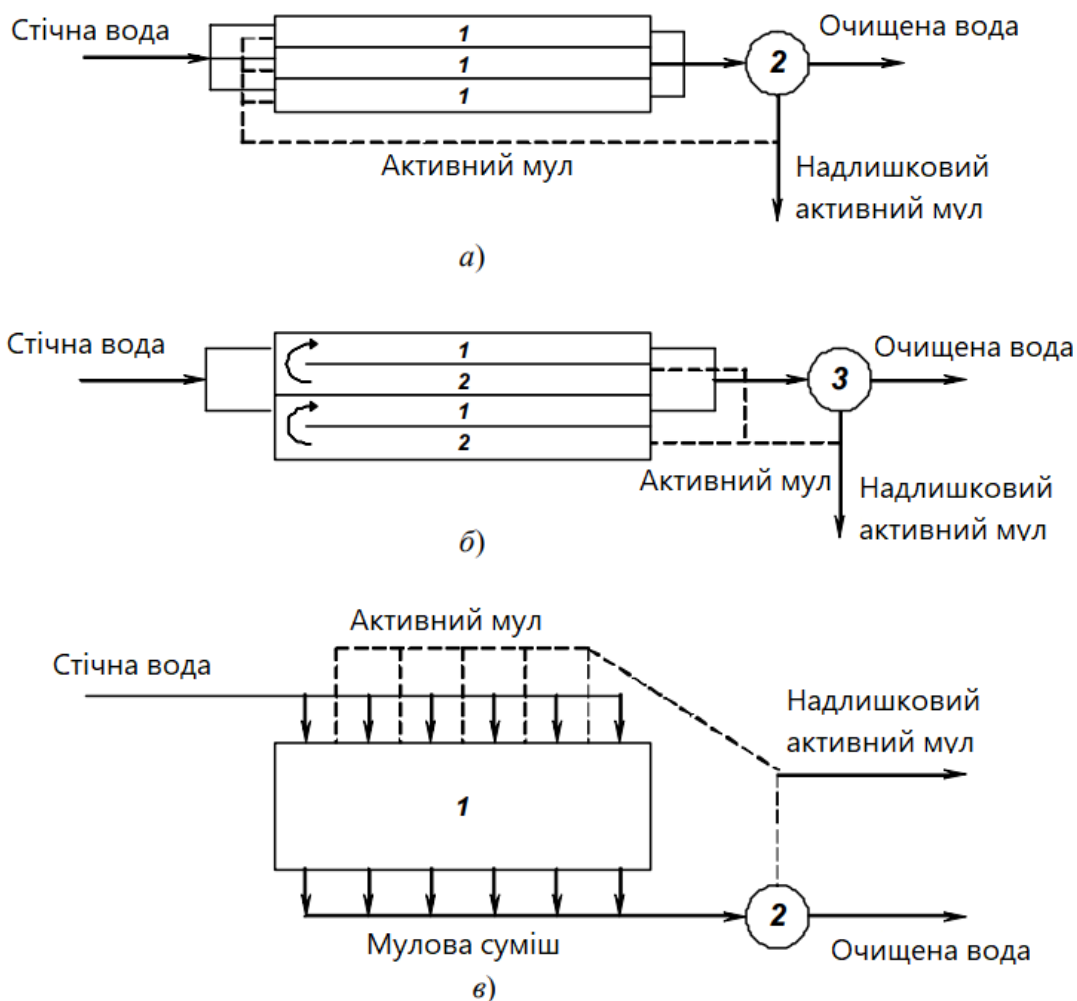


Рис. 3.1 – Схеми роботи аеротенків:

а – із зосередженим надходженням стоків; 1 – аеротенки; 2 – відстійники; б – із зосередженим надходженням стоків та аерацією поворотного мулу; 1 – аеротенки; 2 – регенератори; 3 – відстійники; в – з розосередженим впуском та випуском суміші стічної води та активного мулу; 1 – аеротенк змішувач; 2 – відстійник

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.13.00 000 ПЗ

Арк.

37

Гідродинамічний режим руху в аеротенку найповніше наближається до режиму повного витіснення в резервуарі, розділеному перегородками на шість-вісім послідовно з'єднаних секцій.

Особливістю аеротенку-витіснювача є те, що мікроорганізми активного мулу в процесі очищення стічної рідини знаходяться у різних фізіологічних стадіях свого розвитку. На початковій стадії процесу спостерігається надлишок поживних речовин, на кінцевій їх недолік. У зв'язку з цим кисень повітря подається у великій кількості на початку аеротенку з поступовим зниженням його до кінця. З урахуванням нерівномірності надходження забруднень зі стічними водами завдання розподілу повітря по довжині аеротенка-витіснювача відповідно до швидкостей споживання кисню активним мулом стає важкоздійсненним. У разі залпового надходження токсичних для активного мулу компонентів стічних вод, що характерно для багатьох виробничих стоків, використання аеротенків-витіснювачів є недоцільним. У таких умовах порушується робота біоценозу активного мулу: він втрачає свою активність, набухає і виноситься з вторинних відстійників.

Аеротенки-змішувачі – це споруди, у яких стічні води, що надходять, і активний мул майже миттєво перемішуються з усією масою мулової суміші резервуара. У цих спорудах забезпечується рівномірний розподіл органічних забруднень і розчиненого кисню. Конструктивною особливістю аеротенка-змішувача є розсереджений вхід і вихід суміші стічних вод і активного мулу. Завдяки цьому у всіх точках об'єму аеротенка встановлюється однакова концентрація органічних речовин. Значне розведення стічних вод очищеною водою, що міститься в аеротенку, дає змогу подавати в нього стічну воду з відносно високою концентрацією забруднень.

До недоліків аеротенків-змішувачів слід віднести складнішу систему впуску та випуску рідини, а також відносно низьку середню питому швидкість окислення. Це пов'язано з тим, що концентрація забруднень у муловій суміші відповідає рівню, який пред'являється до очищеної води, що, відповідно,

знижує окислювальну здатність цих споруд порівняно з аеротенками-витіснювачами.

В аеротенках із розсередженим впуском стічної рідини (за зосередженого подання активного мулу) концентрація активного мулу на вході дорівнює його вмісту в поворотному мулі і поступово зменшується в міру наближення до виходу зі споруди. Середня концентрація активного мулу у споруді трохи підвищена. Залишкові забруднення в очищеній рідині зменшуються до кінця споруди. Розподіл забруднень у таких аеротенках нерівномірний, як і в аеротенках-витіснювачах, тому ці споруди мають ті ж недоліки.

Аеротенки, суміщені з регенераторами активного мулу, мають суттєвий недолік. Він полягає в тому, що через поздовжнє перемішування доза мулу в регенераторі знижується порівняно з концентрацією поворотного мулу із вторинних відстійників. Для усунення цього недоліку доцільно відокремлювати регенератор від аеротенка перегородкою з перепускним отвором.

В аеротенках із різними структурами потоків значно відрізняються умови розвитку популяцій мікроорганізмів. В аеротенках-витіснювачах навантаження на мул і швидкість споживання кисню максимальні на початку споруди та мінімальні в її кінці.

В аеротенках-змішувачах навантаження на мул постійне в усьому об'ємі споруди. За розсередженого подання стічної рідини загальне навантаження за забрудненнями досягає максимуму до кінця споруди, але ступінь очищення води може бути дуже високим.

Використання аеротенків із механічною аерацією, імPELLерними та відцентровими аераторами економічно доцільне за продуктивності очисної станції, що не перевищує 6 000 м³/добу, при більших витратах – аеротенки з пневматичною аерацією.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Обґрунтування системи аерації в аеротенку

Одним з основних конструктивних елементів аеротенка, на який припадає від 60 до 80% витрат на експлуатацію очисних споруд (залежно від загальної конструкції і об'єму аеротенка), є система аерації мулової суміші.

Ефективність аераційних пристроїв оцінюють за енергетичними показниками та окислювальною здатністю, яка характеризує кількість розчиненого в повітрі кисню в одиниці рідини протягом години. Аераційні споруди оцінюють за одним із енергетичних показників, зокрема витрата повітря на очищення 1 м³ стічних вод. Цей показник залежить від ефективності подачі повітря в аеротенк і розподілу в ньому, що залежить від типу аератора і системи аерації. Вибір аератора здійснюється на основі порівняння таких показників, як ефективність аерації та окислювальна здатність аераторів.

Системи аерації, які використовуються в аеротенках, можна розділити на кілька типів: пневматичні, механічні, пневмомеханічні та струминні (ежекторні). Вибір системи аерації та її схеми для застосування у конкретному апараті здійснюється індивідуально для водовідвідних споруд, відповідно до таких факторів: якість стічних вод і вимоги до очищеної води; технологія біологічного очищення стічних вод, реалізована в аеротенках (окислення вуглецевмісних сполук (з або без регенерації активного мулу), нітрифікація, нітриденітрифікація та біологічне видалення фосфору); гідродинамічні характеристики аеротенків (змішувачів, витіснювачів, реакторів, аеротенків з дисперсним водопостачанням тощо).

Сучасні енергоефективні регульовані нагнітачі дозволяють знизити питомі витрати енергії на одиницю виробленого повітря. Кількість повітря, яке необхідно подавати в аеротенки для забезпечення необхідної кількості кисню для біологічних процесів, безпосередньо залежить від ефективності системи аерації.

Пневматична система аерації (рис. 3.2) працює за наступним принципом: кисневмісний газ подається під певним тиском по магістральному

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і повітророзподільному трубопроводах до різного роду диспергаторів, встановлених у відповідних точках резервуара

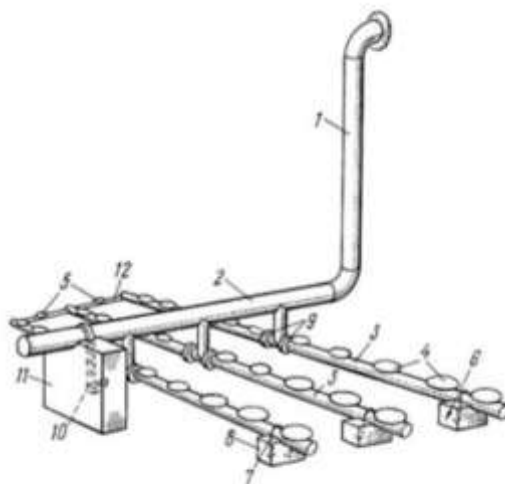


Рис. 3.2 - Схема пневматичної системи аерації:

1 – труба подачі повітря; 2 - розподільний колектор;
3 – повітророзподільна труба; 4 – аератори; 5 – водовідвідний пристрій з трубкою; 6 – кріплення повітророзподільних трубок; 7 – затискач; 8 – бетонний стовп; 9 – фланцеве з'єднання; 10 – затискач; 11 – бетонний стовп;
12 - продувальний колектор

Пневматичну аераційну систему за розміром повітряної бульбашки можна розділити на аерацію тонкої дисперсії (1-4 мм), середньої (5-10 мм) і дрібної (> 10 мм). До першого типу відносяться всі конструкції керамічних, тканинних і пластикових аераторів. До другого відносяться перфоровані труби, куполи, щілинні аератори. До третього відносяться аератори у вигляді відкритих знизу труб або насадки.

Механічна система аерації (рис. 3.3) займає друге місце по застосуванню після пневматичної у системах біологічного очищення стічних вод. Принцип дії механічних аераторів заснований на подачі атмосферного повітря в рідину, що очищається, обертовими елементами аератора. Основними перевагами

механічних аераторів є: простота у виготовленні, відсутність необхідності встановлення повітродувних станцій, висока окисна здатність.

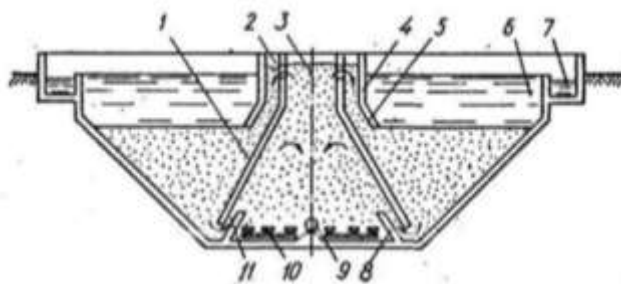


Рис. 3.3 – Механічна система аерації:

1 – стінки; 2 – лопатки з отворами; 3 – зона аерації; 4 – напрямні перегородки; 5 – козирок; 6 – зона освітлення; 7 – жолоб; 8 – відбивачі; 9 – каналізація; 10 – аератори; 11 – симетричні щілини

Крім того, перевагою системи механічної аерації є простота у виготовленні та експлуатації, висока окислювальна здатність, низьке енергоспоживання (1,35-1,4 кВт/год для зниження 1 кг біологічної потреби в кисні за 5 діб). Але, крім переваг, механічні аератори мають недостатньо високу надійність роботи, а при значному рівні стоків потрібна більша кількість аераторів, а також металомісткий робочий орган, який швидко може вийти з ладу. Перемішування води може бути ускладнене, якщо глибина резервуарів більше 2 м.

Серед аераторів використовують також ерліфтні або струменеві (рис. 3.4). Серед них можна виділити системи пневматичної аерації, що працюють у виділеному об'ємі з перекачуванням рідини (ерліфти) і системи, що перемішують воду (статичні аератори). Під час роботи таких пристроїв використовується енергія стисненого повітря, що подається в аеротенк.

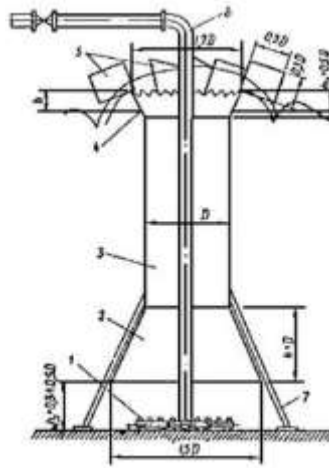


Рис. 3.4 – Ерліфтна система аерації:

1 – аерограти; 2 – нижній конус дифузора; 3 – дифузорна трубка; 4 – верхній конус дифузора з гребінчастим водосливом; 5 -лопатка;
6 - повітропровід; 7 - опорні колони

Ерліфтні аератори широко поширені в хімічній, харчовій і нафтохімічній промисловості, так як при використанні пневматичних систем в аераторах спостерігаються випадки засмічення сольовими відкладеннями або масляними забрудненнями. Струминна аерація також використовується при експлуатації високонавантажених очисних споруд, як додатковий засіб аерації. Але при цьому струминні аератори менш ефективні, ніж дрібнопухирчасті, але ефективніше середньопухирчастих.

Досить ефективними є аератори струминного типу, які займають проміжне положення між дрібно- та середньопухирцевими аераторами. Крім того, аератори струмінного типу можна використовувати для рециркуляції активного мулу в нітрифікаторі. Використання таких аераторів забезпечує відмову від насосів у процесі. Застосування звичайних барботерів у конструкції струминного аератора ускладнює генерацію дрібних монобульбашок, а тому ефективність насичення води киснем повітря нижча.

Також суттєвим недоліком струминної аерації є необхідність встановлення повітродувних пристроїв.

З розглянутих способів аерації стічних вод можна відзначити, що пневматичний спосіб аерації відрізняється високою вартістю порівняно з механічним через необхідність встановлення та обслуговування додаткового обладнання – повітродувних станцій. Витрати на технічне обслуговування системи пневматичної аерації також залежатимуть від розміру утворених бульбашок.

Відмінними технічними особливостями дрібнодисперсних аераторів (діаметр бульбашки 1-4 мм) є стійкість мембрани аератора до утворення осаду, висока пропускна здатність кисню і здатність забезпечувати рівномірну аерацію без втрати тиску повітря. Корпус труби стійкий до обробленої рідини, забезпечує простий і швидкий монтаж. При цьому ефективність насичення коливається в межах 20-25% при глибині води 4 м, а загальна питома подача кисню в чистій воді становить 3-3,5 кгO₂ / кВт*год, а в реальних умовах дорівнює 1,8-2,1. кгO₂ / кВт*год.

Досвід використання середньопухирчастих аераторів (діаметр бульбашки 5-10 мм) показує, що через деякий час отвори забиваються продуктами корозії. Тому рекомендується використовувати труби, виготовлені з некорозійних матеріалів, таких як пластик, мідь або нержавіюча сталь, щоб уникнути забруднення корозійними продуктами.

На відміну від середньобульбашкових аераторів, великобульбашкові (діаметр бульбашки більше 10 мм) завжди не засмічуються і не забруднюються продуктами корозії, але через струминний потік рідини суттєво знижується ККД. насичення киснем, що погіршує процес масопереносу кисню.

Здебільшого використовуються механічні системи аерації з однаковою швидкістю обертання. Для зниження енерговитрат при використанні аеротенків з механічними системами аерації рекомендується використовувати

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

двошвидкісний регулятор або частотний перетворювач. Це дозволяє підтримувати заданий діапазон концентрації розчиненого кисню та виключати перевитрати електроенергії в реальних умовах, коливання вхідного навантаження як для органічних сполук, так і для сполук азоту.

Вибір ефективної системи аерації є одним із вирішальних факторів зниження енерговитрат на очисних спорудах. Система аерації повинна забезпечувати необхідний кисневий режим аеротенка в умовах реальної нестаціонарності вхідного навантаження, тобто забезпечити необхідну кількість кисню в години максимального навантаження і не допустити перевитрати електроенергії в години мінімального навантаження.

Найбільш простим і ефективним алгоритмом управління системою аерації є підтримка заданого діапазону концентрацій розчиненого кисню в значущих точках аеробних зон аеротенків. Для аеротенків, в яких реалізуються технології окислення органічних сполук, оптимальний діапазон концентрації розчиненого кисню становить 1,2-1,5 мг/л в точці, розташованій на відстані 2/3 довжини від початку аеротенка-витіснювача; для аеротенків з дисперсним подаванням стічних вод визначальна точка знаходиться на відстані 1/2 довжини аеротенка, для аеротенків-змішувачів аналізатор концентрації розчиненого кисню встановлюється в будь-якій точці аеротенка, але не ближче 1/3 від точки подачі стічних вод.

Згідно наведеного аналізу обрано одноступеневу систему очищення, аеротенк змішувач з регенерацією.

Визначимо час аерації стічних вод та циркулюючого мула:

$$t_a = \frac{S_0 - S}{\alpha_a (1 - A)} r,$$

де A - зольність мулу в частках одиниці, приймається 0,3; S_0 – БСК_{повн} за водою, що надходить в аеротенк, мг/л, дорівнює 455 мг/л; S - БСК_{повн} очищеної води, дорівнює 15 мг/л; α_a – доза мулу (в аеротенках-змішувачах без регенерації – 3 г/л); r – швидкість окиснення забруднень, мг БСК/(г·год).

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_a = (455-15)/3(1-0,3)24=9 \text{ год.}$$

Ступінь циркуляції активного мулу в аеротенку:

$$R = \frac{\alpha_a}{1000/(J - \alpha_a)},$$

де J - муловий індекс.

Муловий індекс оцінює здатність мулу до осідання і представляє собою об'єм активного мулу після відстоювання протягом 30 хв суміші об'ємом 100 мл, віднесений до 1 г сухої речовини мулу. При нормальному стані активного мулу його муловий індекс має величину 60 – 150 мг/л. Для визначення мулового індексу необхідно знати навантаження на 1 г беззольної речовини мулу на добу.

$$K = \frac{24(S_0 - S)}{\alpha_a (1 - A)t_a}$$

$$K = 24 (455-15)/3(1-0,3)*9 = 558,7 \text{ мг/(г*доб)}.$$

При K близько 600 муловий індекс для підприємства можна взяти 120, тоді $R = 3/1000/(120-3) = 0,35$.

Доза мулу, що надходить у регенератор з вторинного відстійника:

$$\alpha_{\text{рег}} = \left(\frac{1}{2R} + 1 \right) \alpha_a$$

$$\alpha_{\text{рег}} = (1/2*0,35+1)*3 = 7,29 \text{ г/л.}$$

Об'єм циркулюючого активного мулу:

$$U = \frac{\alpha_a QR}{\alpha_{\text{рег}}},$$

Q - середньогодинна витрата стічної води на підприємстві, 7,5 м³/год.

$$U = 3*7,5*0,35/7,29 = 1,08 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$BSK_{\text{повн}}$ стічних вод з муловою сумішшю в аеротенку:

$$S_{\text{см}} = \frac{S_0 Q + S Q}{Q + U}$$

$$S_{\text{см}} = (15*7,5+455*7,5)/(7,5+1,08) = 410,84 \text{ мг О}_2/\text{л.}$$

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тривалість перебування стічних вод у власне аеротенку:

$$t'_a = \frac{2,5}{\alpha^{0,5}} \lg \frac{S_{\text{см}}}{S}$$

$$t'_a = 2,5/3^{0,5} * \lg (410,84/15) = 2,25 \text{ год.}$$

Тривалість окиснення знятих забруднень:

$$t_0 = \frac{S_0 - S}{R\alpha_{\text{пер}}(1 - A)r}$$

$$t_0 = (455-15) / ((0,35*7,29*(1-0,3)24) = 10,26 \text{ год.}$$

Тривалість регенерації циркулюючого мулу:

$$t_p = t_0 - t'_a$$

$$t_p = 10,26 - 2,25 = 8,01 \text{ год.}$$

Об'єм власне аеротенка:

$$V_a = t'_a(Q + U)$$

$$V_a = 2,25 * (7,5 + 1,08) = 19,35 \text{ м}^3.$$

Об'єм регенератора:

$$V_p = t_r \cdot U$$

$$V_p = 8,01 * 1,08 = 8,65 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм аеротенку та регенератора:

$$V = V_a + V_p$$

$$V = 19,35 + 8,65 = 28 \text{ м}^3.$$

Приріст мулу в аеротенках всіх типів:

$$P_p = 0,8B + 0,3S_0$$

де B – кількість завислих речовин у стічній воді, що надходить у аеротенк, мг/л.

$$P_p = 0,8 * 185 + 0,3 * 455 = 284,5 \text{ мг/л.}$$

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома витрата повітря при очищенні стічних вод в аеротенку:

$$B_0 = \frac{n(S_0 - S)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)}$$

де n – питома витрата кисню на 1 мг БСК (приймається для повного очищення – 1,1 мг/мг; для неповного очищення – 0,9 мг/мг); K_1 - коефіцієнт, що враховує тип аератора (приймається рівним 0,75 для середньопухирцевої та низьконапірної аерації, для дрібнопухирчастої аерації - 1,34 - 2,3); K_2 - коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аератора ($n_1 = 1 + 0,002 (T_{cp} - 20)$) - коефіцієнт, що враховує середньомісячну температуру стічних вод; T_{cp} - середньомісячна температура стічної води за літній період; n_2 - коефіцієнт, що враховує віднесення швидкості перенесення кисню в муловій суміші до швидкості перенесення його в чистій воді (приймається рівним 0,7).

Розчинність кисню повітря у воді:

$$C_p = (1 + H/21)C_T,$$

де C_T – розчинність кисню повітря у воді залежно від температури та тиску (при 20 $C = 9,02$ мг/л); C – концентрація кисню у аеротенку – 2 мг/л; H – робоча глибина аеротенку, м (3 м).

$$C_p = (1 + 3/21) * 9,02 = 10,31 \text{ мг/л.}$$

$$B_0 = 1,1 * (455-15)/1,34 * 2,05 * 1,05 * 0,7 (10,31 - 2) = 26,55 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Площа аеротенка:

$$F = V/H = 28/3 = 10 \text{ м}^2.$$

Гідравлічне навантаження:

$$q = Q/F = 7,5/10 = 0,75 \text{ м}^3/(\text{м}^2 * \text{год})$$

Середня швидкість біохімічного окиснення органічної речовини у стоках:

$$w = W_x,$$

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

де W - питома швидкість біохімічного окиснення органічної речовини, віднесена до 1 кг сухого беззольного активного мулу в аеротенці, мг/(г·год); x - концентрація активного мулу в муловій суміші, г/л.

Концентрація активного мула:

$$x = \frac{S_{\text{см}}}{Jm\alpha_{\text{рег}}}$$

де m - навантаження (кількість забруднень) на 1 г активного мулу, г; J – муловий індекс.

Тоді $x = 1,5$ г/л, $w = 10 * 1,5 = 15$ мг/(л*год)

3.3 Опис технологічного процесу

Для очищення стічних вод підприємства пропонується технологічна схема із механічним, фізико-хімічним та біологічним очищенням.

Стадія 1. Підготовка повітря

Повітря, необхідне для аерування активного мула, забирається з атмосфери, фільтрується крізь повітряні фільтри, компресором подається до аеротенка.

Стадія 2. Попереднє очищення стічних вод

Попереднє очищення здійснюється для механічного видалення грубих забруднень з метою видалення крупних часток, жирів та суспензій для запобігання забиванню та пошкодженню наступного обладнання.

На першій операції для видалення великих твердих часток використовується решітки. Щоб запобігти замулюванню каналів та винесенню великих механічних домішок на наступні етапи очищення, швидкість потоку рідини через ґрати регулюється в межах 0,65–1,0 м/с. Технічні характеристики решіток: марка решітки МГ-7Т, ширина каналу перед решіткою 1000 мм, висота проточної частини каналу 70 см, продуктивність однієї решітки 35 тис.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

м³/добу, кількість решіток 3 шт, кут нахилу решіток: 60°, товщина стрижнів 8 мм, кількість прозорів 31 шт, ширина прозорів 16 мм.

Далі вода потрапляє на наступну операцію для видалення піску та важких часток на пісколовки. Швидкість потоку води в пісколовках 0,3-0,6 м/с. Осадженні частки розміром 0,15-0,22 мм періодично збирають та вивозять на майданчики.

Освітлена стічна вода подається на жируловлювачі, в яких підтримується температура води на рівні 20-30 °С для їх оптимальної роботи.

В результаті механічної очистки кількість грубих забруднень зменшується на 50-70%.

Стадія 2. Первинне відстоювання стічної води

На цій стадії відбувається фізико-хімічне очищення з метою осадження важкорозчинних часток та зменшення біологічного навантаження на наступні стадії.

Спочатку вода подається до первинних відстойників, час відстоювання 1,5-3 год, температура 15-25 °С. Далі вода подається до флотаційної установки (для випадків високого вмісту жирів і білків). Перед подачею на флотаційну установку стічні води попередньо оброблюються для підвищення ефективності процесу флотації додаванням хлориду заліза для агрегування дрібних часток у більші флокули. Для зменшення впливу реагенту на активний мул час контакту 5-10 хв, концентрація мінімальна, рН 6,5-7,5. Підготовлені стічні води із змішувальної камери надходять у флотаційну камеру, де відбувається власне процес флотації. Частина очищеної води насичується повітрям під тиском (4-6 атм) у ресиверах і повертається у флотаційну установку. Після скидання тиску повітря утворюються мікропухирці діаметром 20-50 мкм, які піднімаються вгору, захоплюючи з собою частки забруднень. Частки жиру, білків та інших органічних речовин прилипають до мікропухирців повітря, утворюючи піну на поверхні. На поверхні флотаційної камери встановлені механічні скребки, які збирають піну з домішками у спеціальний лоток для

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

видалення. Вода після флотації має значно нижчий вміст жирів і зважених речовин. Очищена вода відводиться через нижній вихід флотаційної камери на подальшу обробку. Технічні параметри флотаційної установки: продуктивність: 10–50 м³/год, тиск у ресивері 4–6 атм, час перебування води у флотаційній камері 15–30 хвилин. Рівень вилучення жирів та зважених речовин 80–95%.

Стадія 3. Біологічне очищення стічної води

Вода подається до аеротенка. Концентрація розчиненого кисню 2–4 мг/л, час перебування у аераторі 10 годин, температура 20–30 °С, середній рН 6,5–8,0. В результаті відбувається окиснення органічних сполук до CO₂ і H₂O, зменшення БСК на 85–95%.

Стадія 4. Вторинне відстоювання (видалення активного мулу)

На цій стадії відбувається видалення активного мулу за рахунок його садження та повернення його частини в аеротенки для підтримки концентрації мікроорганізмів. Час відстоювання у вторинних відстійниках 2–3 год. Швидкість осадження мулу 0,1–0,2 мм/с. В результаті утворюється очищена вода із залишковою концентрацією забруднень <20 мг/л БСК.

Стадія 5. Обробка мулу

На цій стадії відбувається утилізація та зневоднення активного мулу з метою зменшення об'єму та підготовки до утилізації або повторного використання. Відбувається на центрифугі для зневоднення. Вологість зневодненого мулу 60–75%. В результаті зменшується об'єм мулу на 50–70%, з можливістю його використання як добрива або спалювання.

Стадія 6. Додаткове очищення води очищеної

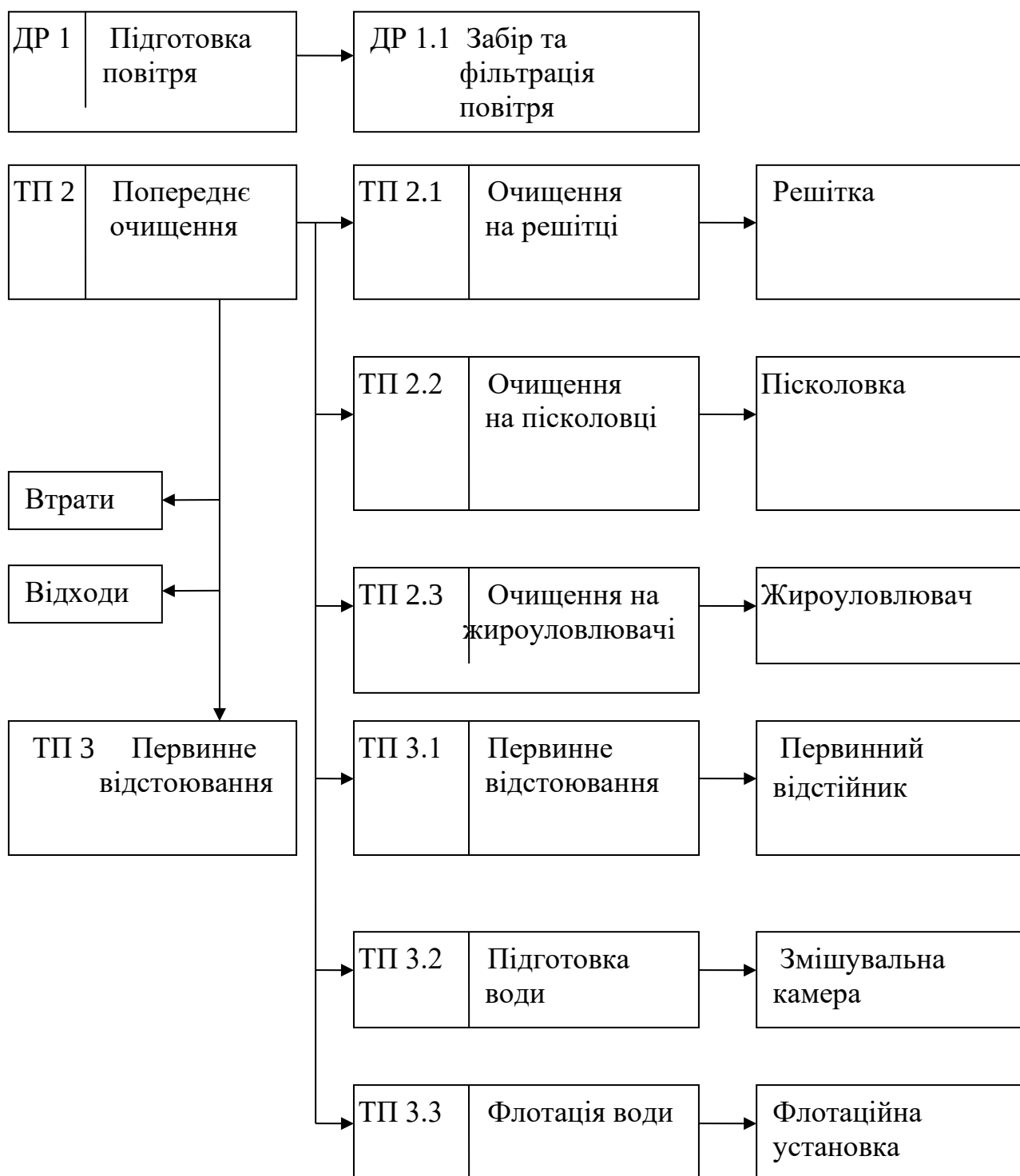
Відбувається у два етапи на сорбційних фільтрах та на установці ультрафіолетової дезінфекції. Контактний час для дезінфекції 20–30 хв. В результаті отримана вода відповідає вимогам для повторного використання.

Такий процес забезпечує ефективне очищення стічних вод молочного підприємства до нормативного рівня, зменшуючи вплив на довкілля.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3.4 Схеми виробництва

Технологічна та апаратурна схеми очищення стічної води біологічним методом наведені на рис. 3.5 та 3.6.



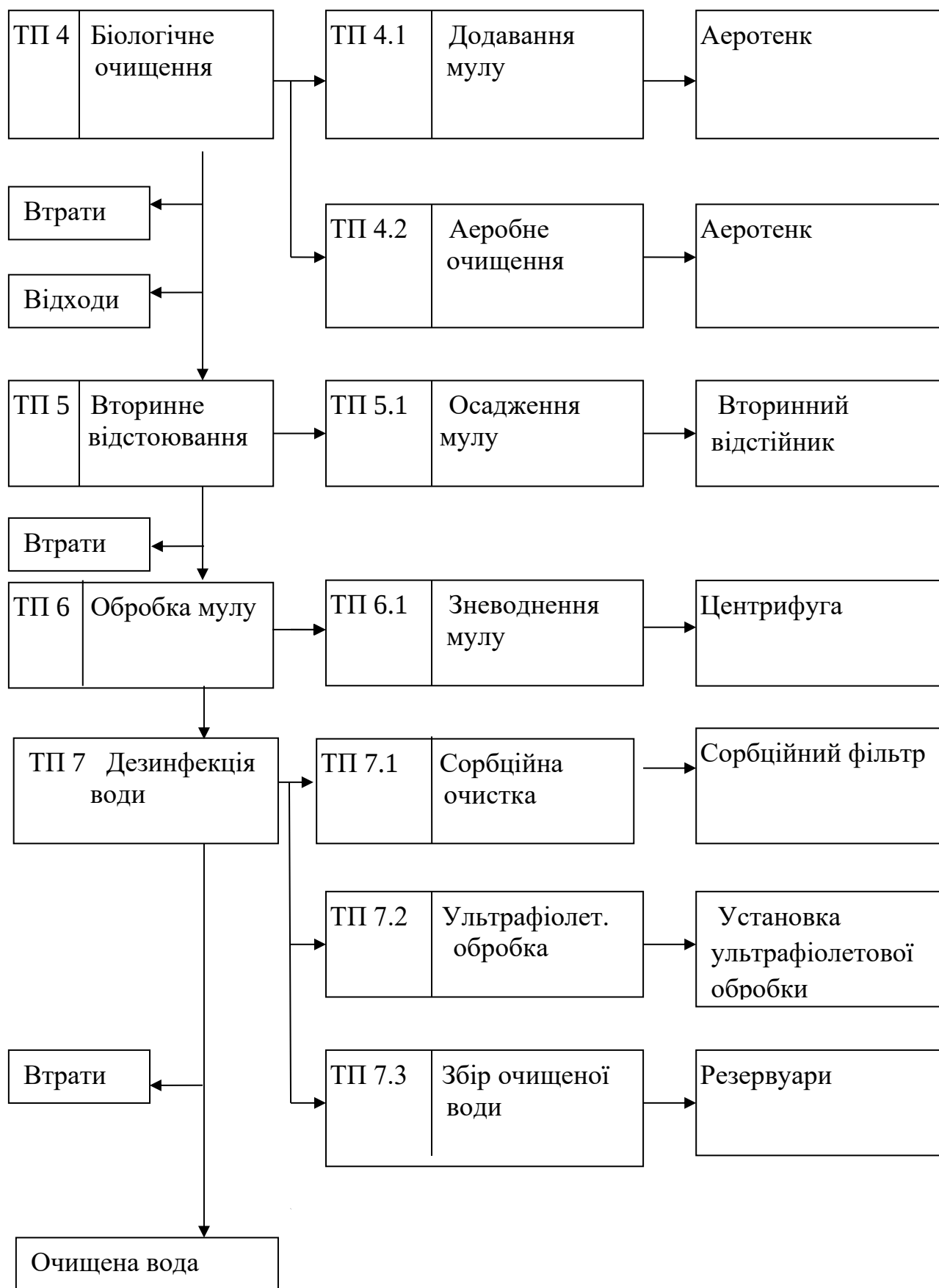


Рис. 3.5 – Технологічна схема біологічної очистки стічної води

3.5 Критичні параметри виробництва

У табл. 3.1 наведені параметри, які контролюються на кожній стадії.

Таблиця 3.1 – Контроль параметрів процесу біологічного очищення стічної води

Назва стадії	Критичні точки	Періодичність контролю	Значення параметру
1	2	3	4
ДР 1.1 Збір та фільтрація повітря	Механічні частки у повітрі Кількість повітря	Кожного забору	Відсутність 26,55 м³/м³
ТП 2.1. Очищення на решітці	Витрата стічної води Швидкість потоку рідини	Кожного забору	7,5 м³/год 0,65–1,0 м/с
ТП 2.2 Очищення на пісколовці	Швидкість потоку рідини	Кожного забору	0,3-0,6 м/с
ТП 2.3 Очищення на жируловлювачі	Температура води	Кожного забору	20-30 °С
ТП 3.1 Первинне відстоювання	Час відстоювання Температура	Кожного забору	1,5-3 год 15-25 °С
ТП 3.4 Змішування з коагулянтном	Доза реагенту рН Час	Кожного забору	0,05 м³ 6,5-7,5 5-10 хв
ТП 3.5 Флотація води	Тиск повітря Час	Кожного забору	4-6 атм 15-30 хв
ТП 4.1 Додавання мулу	Кількість активного мулу	Кожного забору	
ТП 4.2 Аеробне очищення	БСК _{повн} початкова Концентрація кисню Час рН Температура БСК _{повн} кінцева	Кожного забору	455 2 мг/л 10 год 6,5-8 20-30 С 15
ТП 5.1 Осадження мулу	Час Швидкість осадження	Кожного забору	2 год 0,1–0,2 мм/с

ТП 6.1 Зневоднення мулу	Вологість зневодненого мулу	Кожного забору	60–75%
ТП 7.1 Сорбційна очистка	Час	Кожного забору	30 хв
ТП 7.2 Ультрафільтраційна обробка	Час	Кожного забору	30 хв
ТП 7.3 Збір очищеної води	БСК _{повн} початкова та інші показники згідно нормативу	Кожного забору	згідно з нормами

3.6 Екологічні аспекти виробництва

Система очищення стічних вод в аеротенках забезпечує ефективне зменшення забруднень, сприяючи збереженню водних ресурсів і мінімізації негативного впливу на довкілля. До позитивного впливу цього процесу на екосистему загалом можна віднести прямий наслідок - зменшення забруднення водних екосистем. Біологічне очищення дозволяє суттєво знижувати концентрацію біологічного споживання кисню (БСК), хімічного споживання кисню (ХСК), жирів, білків, органічних і неорганічних сполук у стічних водах, що сприяє збереженню водної флори і фауни, запобігаючи евтрофікації водойм. Аеротенки ефективні для очищення широкого спектра органічних забруднень, включаючи специфічні стоки молокозаводів (жири, білки, лактоза).

Також слід відмітити раціональне використання водних ресурсів, так як очищення засноване на природних біохімічних процесах (розщеплення органіки мікроорганізмами) зменшує потребу у використанні хімічних реагентів. Раціональне використання ресурсів пов'язане і з використанням активного мулу, так як активний мул у процесі очищення використовується повторно, а залишковий мул стабілізується, зменшуючи обсяг відходів, які необхідно утилізувати. Стабілізований мул може використовуватися як органічне добриво.

Слід зазначити і енергетичний потенціал біологічного очищення у випадках, коли система включає анаеробні процеси, можливо отримувати біогаз (метан), що зменшує залежність від зовнішніх джерел енергії.

Але слід зауважити, що системи аерації вимагають значних витрат енергії для підтримання концентрації розчиненого кисню (2–4 мг/л), що може підвищувати вуглецевий слід підприємства.

Також окремим питанням при біологічній очистці стоять проблеми залпових викидів, у разі залпового надходження токсичних речовин (солей

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

важких металів, антисептиків, кислот) можливе порушення роботи мікробних спільнот у аеротенку, що призводить до зниження ефективності очищення та необхідності регенерації активного мулу.

Також потрібно зважати на викиди парникових газів. У процесі біологічного очищення виділяється невелика кількість вуглекислого газу та за анаеробних умов можливе утворення метану, а без належного контролю ці викиди можуть впливати на зміну клімату.

Заходами, які дозволяють мінімізувати ці ризики є енергозбереження за рахунок використання енергоефективних аераторів і автоматичних систем контролю подачі кисню, а також інтеграції відновлюваних джерел енергії (сонячних батарей, біогазових установок). Також велика увага приділяється оптимізації роботі аеротенків для забезпечення рівномірного завантаження стічних вод та уникнення токсичних залпових скидів, а також регулярний контроль складу стічних вод і якості активного мулу.

Біологічне очищення стічних вод у аеротенках є екологічно вигідною технологією завдяки ефективному видаленню забруднень із мінімальним використанням хімічних реагентів. Однак для забезпечення сталого розвитку необхідно впроваджувати сучасні технології енергозбереження, управління мулом і зменшення шкідливих викидів.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Аеротенки є ефективним рішенням для очищення стічних вод завдяки поєднанню процесів аерації та біологічного розкладання забруднень.

Оптимальний склад активного мулу, включаючи гетеротрофні бактерії та інші мікроорганізми, забезпечує високу швидкість окислення органіки.

Для підвищення ефективності роботи аеротенків необхідно забезпечити контроль подачі кисню та рівномірний розподіл навантажень у резервуарі.

Використання аеротенків сприяє зменшенню концентрації БСК та ХСК у стічних водах до нормативних показників.

Ефективне управління надлишковим мулом дозволяє використовувати його як добриво або джерело біогазу.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення» (Модуль 2. Очистка стічних вод) (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів підготовки 6.060101 «Будівництво» (спеціальність «Водопостачання та водовідведення») та 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»). Харків : ХНУМГ, 2014. 121 с.

2. Біотехнології в екології : навч. посіб. / А. І. Горова та ін. Дніпропетровськ : НГУ Національний гірничий університет, 2012. 184 с.

3. Василенко О. А., Епоян С. М. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. Київ, Харків : КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. 540 с.

4. Водовідведення і очищення стічних вод міста : навч. посіб. / С. М. Епоян та ін. Харків : Видавнича група «РА Каравела», 2003. 144 с.

5. ДСТУ ГОСТ 2.612:2014. Єдина система конструкторської документації. Електронний формуляр. Загальні вимоги. (ГОСТ 2.612–2011, IDT). Офіц. вид. Вперше ; чинний від 2014–11–01. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 47 с.

6. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. : у 2 кн. / О. В. Швед та ін. Львів : Вид-во Львів. політехніка, 2018. Кн. 1. 424 с.

7. Гуляєв В. М., Волошин М. Д. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. для студентів спец. 7.91607 - Біотехнологія. Дніпропетровськ, 2002. 126 с.

8. Ігнатюк О. А. Основні екологічні принципи та концепції екологічної біотехнології : навч. посіб. Київ : ВПІ ВПК «Політехніка», 2006. 268 с.

9. Капрельянц Л. В. Теоретичні основи біотехнології : навч. посіб. Харків : Факт, 2020. 296 с.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

10. Мазур І. В. Анаеробно-аеробне біологічне очищення стічних вод міста Кропивницький і кондитерської фабрики : дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра 6.051401 Біотехнологія. Київ, 2019. 64 с.

11. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ОП «Біотехнологія» / О. С. Калюжная та ін. Харків : НФаУ, 2024. 128 с.

12. Моделювання очистки води в системах «аеротенк - відстійник» / М. М. Біляєв та ін. East European Scientific Journal. 2019. Vol 10(50). Р. 10-15.

13. Клименко І. В., Іванченко А. В., Волошин М. Д. Нове конструкційне рішення проблеми удосконалення апаратів біологічного очищення стічних вод. Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2016. № 1 (18). С. 66-71.

14. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці : підручник / під ред. Л. А. Саблій. Рівне : НУВГП, 2016. 356с.

15. Пирог Т. П. Загальна мікробіологія : підручник. 2–ге вид., допов. і перероб. Київ : НУХТ., 2010. 632 с.

16. Пирог Т. П., Ігнатова О. А. Загальна біотехнологія : підручник. Київ : НУХТ, 2009. 336 с.

17. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Ч. І. Ферментація. Львів : Вид–во Львів. політехніка, 2004. 240 с.

18. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Ч. II. Обробка культуральних рідин. Львів : Вид–во Львів. політехніка, 2004. 296 с.

19. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Ч. III. Основи проектування мікробіологічних виробництв. Львів : Вид-во Львів. політехніка, 2004. 252 с

20. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод : монографія / М. Д. Волошина та ін. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. 230 с.

21. Чоповцій І. К. Розрахунок аеротенка з зонами денітрифікації і нітрифікації : дипломний робота на здобуття кваліфікаційного ступеня «магістр» 192 Будівництво та цивільна інженерія. Дніпро, 2020. 51 с.

22. Biological treatment. A key to successful wastewater filtration : 1H2O3. URL: <https://www.1h2o3.com/en/about/> (Date of access: 10.12.2024).

23. Biological treatment. URL: <https://www.fao.org/4/v9922e/V9922E05.htm> (Date of access: 10.12.2024).

24. Biological Wastewater Treatment. Processes I: Activated Sludge URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Biological%20Wastewater%20Treatment%20I%20-%20Activated%20Sludge%20R1.pdf> (Date of access: 10.12.2024).

25. Membrane aerated biofilm reactor system driven by pure oxygen for wastewater treatment / A. Abdelfattah et al. Bioresource Technology. 2024. Vol. 393. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.130130.

26. Multifaced features and sustainability of using pure oxygen in biological wastewater treatment: A review / A. Abdelfattah et al. Journal of Water Process Engineering. 2023. Vol. 53. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.103883.

27. Organic degradation and extracellular products of pure oxygen aerated activated sludge under different F/M conditions / H.-L. Zhang et al. Bioresour. Technol. 2019. Vol. 279. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.01.130.

28. Role of microbial communities on organic removal during petrochemical wastewater biological treatment with pure oxygen aeration / D. Wang et al. Journal of Water Process Engineering. 2021. Vol. 42. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102151.

29. The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations / G. Skouteris et al. Bioresource Technology. 2020. Vol. 312. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123595.

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

30. What is Aeration for Wastewater Treatment? Wastewater Digest. URL: <https://www.wwdmag.com/what-is-articles/article/10939130/what-is-aeration-for-wastewater-treatment> (Date of access: 10.12.2024).

					162.01.13.00 000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

