



Рисунок 1.6 – Залежність ступеню вилучення іонів марганцю від часу фільтрування.

Таким чином, у результаті дослідження було: обґрунтовано актуальність проблеми забруднення вод залізом і марганцем, експериментально підтверджено ефективність використання магнетиту як функціональної добавки до процесу фільтрації, доведено, що магнетит може виступати в ролі адсорбента, каталізатора або структурного активатора при фільтрації та визначено оптимальні умови його використання.

Література

1. Рижков О. О. Хімічні елементи у природних водах України. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2012. – 312 с.
2. Iron and Manganese in Private Water Systems [Електронний ресурс] // PennState Extension. – 2020.
3. Iron and Manganese in Well Water [Електронний ресурс] // Connecticut DPH. – 2022.
4. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною". ДСанПіН 2.2.4-171-10.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ М'ЯСОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ

Дубовенко В.Ю. ст., Саблій Л.А. д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, м. Київ, dubovenko.vladislav@iill.kpi.ua

Забруднення водних ресурсів промисловими стічними водами (СВ) є однією з важливих екологічних проблем сучасності. Підприємства м'ясопереробної галузі генерують значні обсяги висококонцентрованих стічних вод, які без належного очищення можуть спричинити деградацію водних екосистем. Скидання неочищених або недостатньо очищених стоків призводить до евтрофікації водойм, масової загибелі гідробіонтів, погіршення якості питної води, що створює загрози для здоров'я населення.

Стічні води м'ясопереробних підприємств (СВМП) утворюються внаслідок процесів забою тварин, переробки м'яса, а також миття обладнання та виробничих приміщень. Вони характеризуються високим вмістом органічних речовин, біогенних елементів (азоту та фосфору), жирів, завислих речовин, а також можуть містити патогенні мікроорганізми, детергенти та дезінфектанти. Основними джерелами забруднень є кров, жир, дрібні частинки м'яса, шерсті, пір'я, шкіра та миючі засоби, що використовують для санітарної обробки обладнання та приміщень.

Показники забруднення стічних вод забійних цехів і м'ясокомбінатів характеризуються значними коливаннями: ХСК – 1100-15000 мг/дм³ (в окремих випадках до 40000 мг/дм³); БСК₅ – 600-4600 мг/дм³; завислі речовини – 220-6400 мг/дм³; загальний азот – 50-840 мг/дм³; амонійний азот – 20-300 мг/дм³; загальний фосфор – 8-200 мг/дм³; жири – 40-1400 мг/дм³; рН 5-7,8 [1, 2].

Співвідношення БСК₅/ХСК зазвичай перевищує 0,6, що свідчить про високу біодеградабельність СВ. Оптимальне співвідношення ХСК:N:P створює сприятливі умови для мікробіологічної деструкції забруднень в ході біологічного очищення.

Для очищення СВМП застосовують комплексний підхід, що включає механічні, фізико-хімічні та біологічні методи. Механічне очищення (решітки, сита, пісковловлювачі, жировловлювачі) використовують на першому етапі для видалення грубодисперсних домішок та значної частини жирів.

Фізико-хімічні методи, такі як коагуляція, флокуляція, напірна флотація, електрокоагуляція, мембранні технології (ультрафільтрація, зворотний осмос), часто дозволяють досягти високого ступеня очищення. Проте, вони мають суттєві недоліки: висока вартість, значне споживання енергії, необхідність використання хімічних реагентів та проблема утилізації великої кількості утворених осадів і шламів. Це зумовлює пріоритетність біологічних методів очищення висококонцентрованих органічних стоків [3].

Однак, методи коагуляції та напірної флотації можна ефективно застосувати на стадії попереднього очищення таких СВ перед скидом їх в міську систему водовідведення з досягненням ефективності за ХСК – 58-62%; ЗР – 90-95%; СПАР – 88%; фосфатами – 62-65%; азотом амонійним – 40-42%, з показниками очищеної води, відповідно: ХСК – 460-670 мг/дм³; ЗР – 10-23 мг/дм³; СПАР – 0,43-0,08 мг/дм³; фосфати – 3,6-5,4 мг/дм³; азот амонійний – 15,3-17,0 мг/дм³ [4].

Анаеробні процеси є надзвичайно привабливими для першого ступеня біологічного очищення висококонцентрованих СВМП. Їх перевагами є низьке енергоспоживання (відсутність потреби в аерації), менша кількість утвореної біомаси, а головне – можливість отримання біогазу як цінного енергетичного ресурсу. Недоліками є чутливість до змін температури, токсичних забруднень (СПАР, іони важких металів та ін.), складність забезпечення відсутності кисню, довший період запуску та нижча ефективність видалення сполук азоту та фосфору.

Серед анаеробних біореакторів найпоширеніші – UASB-реактори (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Стічна вода в них подається знизу вгору через шар гранульованого анаеробного мулу. Висока концентрація біомаси в гранулах забезпечує інтенсивне очищення при високих органічних навантаженнях. Однак реактори чутливі до високого вмісту жирів та ЗР, що може призводити до спливання та виносу мулу. Ефективність видалення ХСК досягає 70% при органічному навантаженні 1,27-17 кг ХСК/(м³·добу). Основними перевагами є високий ступінь зниження ХСК, мала тривалість процесу, низьке утворення надлишкового мулу, вихід біогазу – 0,3-0,67 дм³ СН₄/г ХСК, відсутність потреби в аерації [2].

EGSB-реактори (Expanded Granular Sludge Bed) – удосконалена модифікація UASB з рециркуляцією потоку для покращення масообміну. Висхідна швидкість потоку підтримується на рівні 4-10 м/год порівняно з 0,5-1,5 м/год в UASB. Це забезпечує кращий контакт біомаси зі стічною водою та стабільну роботу при змінних навантаженнях. Ефект видалення за ХСК досягає 83% при навантаженнях до 35 кг ХСК/(м³·добу) [2, 5].

Анаеробні фільтри містять нерухомі носії (пластикові елементи, керамзит), на поверхні яких іммобілізована біомаса. Зниження ХСК становить 60-85% (навантаження 0,5-11 кг/(м³·добу)) [1]. Вони прості в експлуатації та стійкі до коливань навантаження, але мають ризик кольматації носія за високих концентрацій ЗР та жирів.

Анаеробні SBR (Sequencing Batch Reactor) працюють у періодичному режимі з послідовними фазами заповнення, анаеробної деструкції, відокремлення гранул від очищеної води. Зниження ХСК становить 68-95% при навантаженнях 0,6-12 кг/(м³·добу). Перевагами є гнучкість управління процесом та відсутність вторинних відстійників [1,2].

Анаеробні мембранні біореактори (AnMBR) – сучасна технологія, що поєднує анаеробний процес з мембранною фільтрацією. Мембрана з більшою ефективністю затримує гранули мулу в реакторі, що дозволяє підтримувати високі дози мулу і отримати очищену воду найвищої якості не тільки за ЗР, ХСК, а й за сполуками N і P. Ефективність за ХСК – понад 95%. Основні недоліки – забруднення мембран і необхідність їх регенерації та високі капітальні витрати [1].

Аеробне очищення можна використовувати як самостійний метод в двоступеневих технологіях і як другий ступінь після анаеробного процесу. Використовують активний мул (АМ) в умовах інтенсивної аерації. Цей метод також можна використовувати для видалення сполук азоту та фосфору. Переваги – висока ефективність видалення органічних речовин (ХСК та БСК на 85-89%), а також сполук азоту (нітри- та денітрифікація) і фосфору, менша чутливість до коливань температури. Недоліки – можливе «спухання» мулу через наявність жирів та розвиток нитчастих мікроорганізмів, що погіршує його осадження, високі енерговитрати (аерація, рециркуляція АМ) та утворення значних об'ємів надлишкового АМ.

Аеробні SBR – усі процеси (заповнення, аерація, перемішування, відстоювання) відбуваються циклічно в одному резервуарі. Це забезпечує гнучкість управління, компактність споруд. Такі реактори забезпечують високий ступінь очищення СВ від сполук азоту та фосфору завдяки чергуванню аеробних, аноксидних та анаеробних зон. Ефект за ХСК досягає 95-97%, загальним азотом – 90-98%, загальним фосфором – 72-98% [2].

IFAS-системи (Integrated Fixed Film Activated Sludge) – комбінована технологія, яка влаштована при розміщенні нерухомих носіїв біомаси (пластикові елементи з питомою поверхнею 200-800 м²/м³) в аеротенку з АМ. Це дозволяє одночасно функціонувати двом типам біоценозів – завислому та прикріпленому, що значно інтенсифікує процеси, особливо нітрифікацію. Ефект за ХСК становить 90-93%, загальним азотом – 67-90% [2].

MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) використовують рухомі (в об'ємі реактора) носії біоплівки (заповнення 25-70%). Носії забезпечують стабільну роботу при коливаннях навантажень, зниження ХСК до 97% при навантаженнях 5-15 кг/(м³·добу). Перевагами є відсутність рециркуляції АМ, низькі об'єми осадів, а відтак, матеріало- та енерговитрати на їх обробку [2, 6].

Аеробна грануляція – одна з найновіших технологій, що реалізується переважно в SBR-реакторах. За певних гідродинамічних умов мікроорганізми утворюють щільні гранули, а не пластівці. Внаслідок дифузійних обмежень кисню всередині гранули створюються аноксидні та анаеробні зони, що дозволяє одночасно здійснювати окиснення органіки та нітрифікацію в аеробних умовах, а денітрифікацію і видалення фосфору – в товщі гранул в анаеробних умовах. Це значно скорочує тривалість циклу та підвищує ступінь очищення води – понад 95% за ХСК і амонієм, 83-98% за загальним азотом [1].

Комбіновані (послідовні) анаеробно-аеробні системи. Для досягнення високого ступеня очищення СВМП найефективнішим є послідовне застосування анаеробних та аеробних методів. Така схема дозволяє оптимально використати переваги обох методів. На першому (анаеробному) ступені видаляється основна маса (до 80-90%) органічних забруднень з одночасною генерацією біогазу. На другому (аеробному) ступені відбувається очищення від залишкової органіки, окиснення амонійного азоту (нітрифікація) та видалення сполук фосфору. Це дозволяє суттєво знизити енерговитрати на аерацію порівняно з аеробною технологією та отримати очищену воду високої якості відповідно до

норм скиду у природні водойми або до норм повторного використання на виробництві. Наприклад, UASB + SBR, анаеробний фільтр + MBBR, EGSB + аноксидно-аеробні реактори [1, 2].

Отже, біологічні технології використовують для очищення СВ м'ясопереробних підприємств завдяки економічній ефективності та екологічності. Сучасні анаеробні реактори (UASB, EGSB) забезпечують ефективне видалення органічних забруднень з одночасним виробництвом біогазу. Аеробні технології нового покоління (SBR, IFAS, системи з гранулами АМ) дозволяють досягти глибокого видалення органічних речовин.

Оптимальним рішенням є застосування комбінованих анаеробно-аеробних систем, що поєднують переваги обох методів: енергоефективність анаеробної стадії та високу якість очищення аеробної. Вибір технології залежить від складу та витрати стічних вод, вимог до якості очищеної води, наявності вільних площ та капітальних інвестицій. Майбутній розвиток технологій очищення СВ пов'язаний з інтенсифікацією процесів у компактних реакторах (AnMBR, MBBR) та впровадженням концепції циркулярної економіки, що передбачає не лише очищення води, а й максимальне вилучення ресурсів (енергія з біогазу, поживні речовини для добрив, повторне використання очищеної води).

Література:

1. A. Aziz et al. Biological wastewater treatment (anaerobic-aerobic) technologies for safe discharge of treated slaughterhouse and meat processing wastewater. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 686. P. 681–708. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.295>.
2. B. R. Baker et al. Advanced technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A systematic review. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2020. P. 1–20. URL: <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1721007>.
3. Musa M. A., Idrus S. Physical and Biological Treatment Technologies of Slaughterhouse Wastewater: A Review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, no. 9. P. 4656. URL: <https://doi.org/10.3390/su13094656>.
4. Саблій Л.А., Жукова В.С., Єпішова Л.Д. Вдосконалення технології локального очищення стічних вод м'ясокомбінату / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб. 2022. Вип. 41. С. 66-75. DOI: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.66-75>.
5. Shende A. D., Pophali G. R. Anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 28, no. 1. P. 35–55. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10921-x>.
6. Kundu P., Debsarkar A., Mukherjee S. Treatment of Slaughter House Wastewater in a Sequencing Batch Reactor: Performance Evaluation and Biodegradation Kinetics. *BioMed Research International*. 2013. Vol. 2013. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1155/2013/134872>.