

**УДК 628.356.665****Т.Л. ТКАЧЕНКО**, асистент, **О.І. СЕМЕНОВА**, канд. техн. наук, доцент,**Н.О. БУБЛІЄНКО**, канд. техн. наук, доцент, **О.В. НИЧИК**, канд. техн. наук, доцент

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МОЛОКОЗАВОДІВ

Розглянуто питання оптимізації процесу біохімічного очищення стічних вод. Зроблено аналіз запропонованих методів інтенсифікації процесу. Проведено дослідження удосконалення процесу очищення стічних вод молочного виробництва шляхом стимулювання мікроорганізмів активного мулу очисної споруди електричним струмом.

**Ключові слова:** стічна вода, електричний струм, активний мул, біохімічне очищення, електростимулювання.

Вода, безумовно, відіграє винятково важливу роль у формуванні клімату Землі та процесах обміну речовин, які становлять основу життя, і завжди була, є і надалі залишається одним із основних чинників існування людства [1]. Тому прогресивна діяльність нинішнього та майбутнього поколінь неможлива без стійкого менеджменту водних ресурсів, що дозволяє підтримувати екологічні процеси у водному середовищі у придатному для життя на планеті стані [2].

Забезпеченість України прісною водою з розрахунку на одну людину становить приблизно 1000 м<sup>3</sup> на рік, що за світовими стандартами є достатньо опосередкованою величиною. У результаті погіршення екологічного стану джерел водопостачання вже зараз 20 % міського і 75 % сільського населення України потерпають від нестачі чистої питної води та, як наслідок, майже чверть населення країни ризикує захворіти. Статистика свідчить, що більш ніж 10 % проб води із системи централизованого водопостачання не відповідають нормам [3] за санітарно-хімічними показниками і 5,4 % – за бактеріологічними; у джерелах децентрализованого водопостачання – відповідно 32 % та 23 % проаналізованих проб. Наведені статистичні дані доводять необхідність формування дбайливого екологічного мислення, інтенсифікації роботи очисних споруд та посилення відповідальності за руйнування довкілля [4].

За часи незалежності України обсяги скидів стічної води без попереднього очищення збільшилися майже у два рази. При цьому посилилася тенденція зниження ефективності роботи очисних споруд, що пояснюється зношеністю обладнання та його низьким технологічним рівнем [2]. У багатьох випадках вода з поверхневих водних об'єктів за своїм складом та властивостями наближається до слабконцентрованих стічних вод.

Вищенаведене визначає актуальність спорудження на промислових підприємствах національної економіки станцій очищення стічних вод. Обов'язковою умовою розроблення проекту будівництва станції очищення стоків виробництва є врахування індивідуальних умов підприємства, але в цілому схема відведення і очищення стічних вод має забезпечувати мінімальне скидання стічних вод у водойми, максимальне використання очищених стічних вод у системах повторного та оборотного водопостачання, а також повне вилучення та утилізацію цінних домішок. Реалізація цих заходів можлива через застосування біохімічного очищення стоків.

Використання біологічних методів для очищення стічних вод ґрунтується на здатності різних груп мікроорганізмів (так званого активного мулу) вживати органічні забруднення стічних вод як продукти харчування та, як слідство, отримувати енергію для своєї життєдіяльності і конструктивний матеріал для відтворення власних клітин – стічна вода тим самим звільняється від цих забруднень. Як відомо, мул – це популяція різноманітних бактерій, грибів та інших організмів, додавання яких у стічні води призводить до швидкого встановлення рівноваги між редуцентами, що сприяють розкладу органічних речовин, у результаті чого утворюються оксид карбону (IV) та вода [5].

Нині біологічне очищення стічних вод є основним, найбільш ефективним та економічно доцільним методом очищення міських та багатьох категорій виробничих стічних вод. На теренах України широко розповсюджені молокопереробні підприємства, що пояснюється специфікою сировинної бази даного виробництва, і тому надзвичайно гостро постає проблема очищення стічних вод. З одного боку, це внутрішньодержавна проблема охорони навколишнього природного середовища, а з іншого –

необхідна умова для просування продукції вітчизняних підприємств на зовнішній ринок.

Слід зазначити, що технологія виготовлення молочної продукції передбачає утворення на кожному підприємстві відходів, які відрізняються за кількістю та показниками забруднення: хімічне споживання кисню (ХСК) – 1000–5000 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>; біохімічне споживання кисню (БСК) – 700–3700 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>; вміст загального азоту становить від 20 до 170 мг/дм<sup>3</sup>.

Такі розбіжності даних обумовлені не лише різноманітним асортиментом продукції, яка випускається, але й коливаннями виходу і забрудненості стоку протягом доби: діапазон змін рН середовища – від 4,5 до 10,4; температура стоку коливається від 15 до 35 °С; вміст жирів у стічних водах цехів, що випускають продукцію з високим вмістом жиру (масло, вершки, сметану), складає 200–400 мг/дм<sup>3</sup>. Дисперсна фаза загального стоку молочного виробництва – це, в основному, жири, частинки коагульованого білку; у розчиненому стані – органічні кислоти, молочний цукор. Масова частка лактози коливається у межах 0,04–0,25 %; жиру – 0,01–0,15 %.

Мікробіологічна забрудненість стічних вод молокозаводів невисока і переважно представлена мікроорганізмами, що викликають молочнокисле, спиртове та пропіоновокисле бродіння. Таким чином, стоки молокопереробних підприємств, не зважаючи на значні коливання концентрації забруднюючих речовин, можуть бути вихідним субстратом для біологічного очищення.

Концентрація забруднень стоків залежить від асортименту продукції молокозаводу: стічні води підприємства, що виробляє питні види молока та деякі кисломолочні продукти, є малоконцентрованими (ХСК становить не більше 1500 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>), у той час як підприємства, основною продукцією яких є вершкове масло та тверді сири, вирізняються достатньо концентрованими стічними водами (ХСК – до 5000 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>). За невеликої забрудненості стоків (ХСК = 1000–1500 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>) застосовують традиційну аеробну ферментацію. У випадку масло- та сироробних підприємств (ХСК – більше 2500 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>) постає необхідність впровадження комплексної анаеробно-аеробної схеми із застосуванням метанового бродіння на першій стадії блоку біологічного очищення.

Аеробна стадія очищення стічної води є невід'ємною складовою технологічної схеми нейтралізації забруднюючих речовин зазначених стоків. Саме тому в процесі досліджень були визначені основні технологічні та біохімічні особливості аеробного активного мулу:

- Технологічні показники – доза (концентрація) активного мулу та муловий індекс. За результатами досліджень, оптимальна доза мулу становить 5–8 г/дм<sup>3</sup>. Ця концентрація була визначена за величиною приросту

мулу. Інший технологічний показник – муловий індекс становить 73–74 мг/г. Одержані значення забезпечують безперебійну роботу аеротенка та вторинного відстійника.

- Біохімічні показники – окислювальна здатність, величина якої залежить від концентрації мулу в аеротенку (вона становить в середньому 22–23 мг/г добу), та дегідрогеназна активність мулу (ДГА), що є опосередкованою характеристикою роботи аеротенка. Отже, ДГА становить 24–25 мг/г АСР (абсолютно суха речовина).

Одним із першочергових завдань удосконалення процесу очищення стічних вод є інтенсифікація роботи аеротенка, яка, наприклад, може здійснюватися за рахунок таких способів:

- Підвищення концентрації активного мулу є одним із можливих способів інтенсифікації процесу. Для традиційної схеми очищення стічних вод молочних виробництв в аеробних умовах дослідним шляхом встановлено оптимальну концентрацію активного мулу на рівні 5–8 г/дм<sup>3</sup> на відміну від комунальних стічних вод, концентрація мулу яких становить 2,5–3 г/дм<sup>3</sup> [6]. Такий підвищений вміст мулу, що необхідний для забезпечення процесу аеробної ферментації, пояснюється тим, що стоки молокозаводів характеризуються чималим вмістом лактози, яка повільно метаболізується. Але спосіб підвищеної концентрації має дуже суттєве обмеження, оскільки існує граничний вміст активного мулу (приблизно 15 г/дм<sup>3</sup>), що забезпечує безперебійну роботу вторинних відстійників. Збільшуючи дозу мулу в аеротенках до цього граничного значення, можна дещо підвищити продуктивність та покращити якість очищення стічних вод.

- Покращення способів аерації муловодяної суміші шляхом використання імперних, пневматичних або струминних аераторів. Це дає можливість прискорити обмін речовин в бактеріальних клітинах мулу, що збільшить швидкість окиснення забруднюючих речовин стічної води. Цей спосіб здатний значно підвищити швидкість насичення киснем мулової суміші, відповідно збільшуючи ефективність та швидкість очищення стічної води.

- Підвищення ферментативної активності мікроорганізмів активного мулу шляхом уведення біологічно активних речовин, що здатні стимулювати життєдіяльність мулу. Слід зазначити, що даний спосіб стимулювання є не дуже ефективним в умовах потужних міських та промислових очисних станцій, оскільки значна вартість біологічно активних добавок не надає можливості використовувати їх в значних кількостях. Але для невеликих локальних установок очищення води введення біологічно активних речовин є цілком перспективним та прийнятним способом.

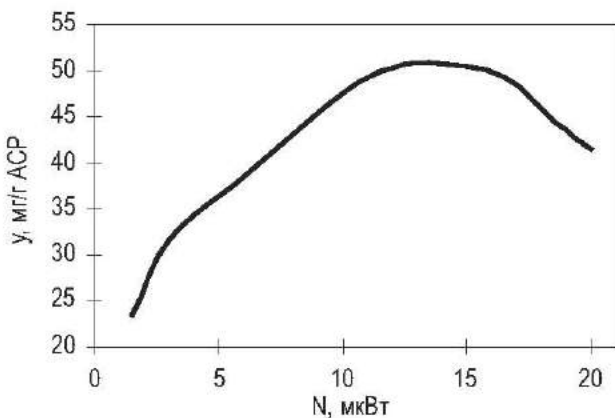
- Удосконалення процесу очищення стоків способом іммобілізації активного мулу на різноманітних носіях (наприклад, капронові нитки типу «ВІЯ» [7], пінокераміка,



щербін, гравій, керамзит тощо). Використання іммобілізованої мікрофлори є доцільним та ефективним – прикріплений активний мул виявляє набагато більшу біохімічну активність, ніж його пластівці, що вільно плавають у рідкому середовищі. Процес окиснення органічних забруднювачів прискорюється в середньому вдвічі що було доведено дослідженнями з використанням подрібненого жовтого сапону як іммобілізуючого агента, які проведено на базі кафедри біохімії та екологічного контролю НУХТ.

Покращення якості процесу аеробної ферментації шляхом впливу на активність мікробних клітин мулу фізичними факторами, наприклад магнітним, електростатичним або електродинамічним полями.

Авторами було проведено дослідження процесу електростимулювання клітин активного мулу, яке здійснювалося в лабораторній установці, що мала камеру аерації з встановленими електродами у вигляді пластин з отворами, на які подавали електрострум. Потужність електростриму варіювалась в достатньо великих межах – від 1,5 до 99,5 мкВт. Біохімічна активність мулу як показник процесу очищення залежить від багатьох чинників – виявилось, що ДГА варіюється і при зміні потужності електростриму. За експериментальними даними, екстремум цієї залежності знаходиться у чітко визначеному інтервалі, що обумовило можливість значно звузити межі експерименту. Отримані дані наведено на рис. 1, який демонструє залежність між ДГА та потужністю електростриму в інтервалі від 1 до 20 мкВт.



**Рисунок 1 – Залежність питомої дегідрогеназної активності мулу (y) від потужності електростриму (N)**

Максимальне значення ДГА (50 мг/г АСР) відповідає оптимальній потужності електростриму на рівні 13,5 мкВт. Отримані дані вимагають підтвердження доцільності їх використання, було проведено досліді з електростимулювання мікроорганізмів активного мулу при постійному значенні потужності електростриму – 13,5 мкВт. На практиці значення ДГА в ході процесу очищення дещо

коливалися, що пояснюється виснаженням субстрату та відповідає стадії ендогенної респірації активного мулу. В цілому вплив електростриму потужністю 13,5 мкВт на мікрофлору мулу спричиняв підвищення її ДГА приблизно в два рази порівняно зі значеннями, що характерні для стандартних умов процесу очищення (без застосування будь-яких способів інтенсифікації).

З метою проведення оптимізації зазначеного процесу було використано метод Харінгтона, що дозволяє перевести натуральні експериментальні значення в безрозмірну форму. За величинами значущості двох критеріїв (ферментативної активності та вартості електростриму) було отримано залежність, яка встановила оптимальне співвідношення між змінними величинами: потужність електростриму має підтримуватися на рівні 8,5 мкВт, значення ДГА – дорівнювати 45–46 мг/г АСР.

Отже, якщо за стандартних умов ферментації очищення стічних вод з 1500 мг  $O_2/дм^3$  до 60 мг  $O_2/дм^3$  за ХСК відбувалося протягом 48 год, то цього ж кінцевого значення ХСК за умови стимулювання діяльності мікроорганізмів активного мулу електрострумом оптимальної потужності можна досягти за 36 год, тобто необхідний період перебування стічної води в очисній споруді скорочується на 25 %.

## ВИСНОВКИ

Проведено дослідження з метою інтенсифікації процесу очищення стічних вод шляхом електростимулювання діяльності мікроорганізмів активного мулу. Визначено діапазон зміни потужності електростриму (від 1,5 до 20 мкВт), відповідні величини ДГА (від 23,5 до 50,0 мг/г АСР) – експериментальні дані оброблено з метою оптимізації процесу інтенсифікації, отримано оптимальні значення потужності електростриму – 13,5 мкВт та 8,6 мкВт. Визначено тривалість ферментації при оптимальному значенні потужності електростриму – 36 годин. Запропонований метод удосконалення технології очищення стоків може бути використаний на станціях водочищення будь-якого підприємства, де застосовують процес аеробної ферментації забруднюючих речовин стічної води як основну стадію очищення, тобто на всіх підприємствах харчової промисловості та інших галузей господарства, що працюють з органічною сировиною.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Запольський, А.К.** Основи екології : підруч. / А.К. Запольський, А.І. Салюк ; за ред. К.М. Ситника. – 2-е вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 382 с. : іл.

2. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды / В.В. Гончарук, А.П. Чернявская, В.Н. Жулинский и др. – К. : Наукова думка, 2005. – 400 с.
3. **ГОСТ 2874–82.** Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль над качеством. – Взамен ГОСТ 2874–73. – Введ. 1985–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.
4. **Антипчук, А.Ф.** Очищення стічних вод : опорний конспект лекцій / А.Ф. Антипчук. – К. : Ун-т Україна, 2008. – 57 с.
5. **Ковальчук, В.А.** Очистка стічних вод / В.А. Ковальчук. – Рівне : Рівненська друкарня, 2002. – 622 с. : іл.
6. **СНиП 2.04.03–85.** Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 1986–01–01. – М. : Стройиздат, 1985. – 125 с.
7. **Гвоздяк, П.І.** Наукове обґрунтування, розробка і впровадження в практику нових біотехнологій очищення води / П.І. Гвоздяк, Л.І. Глоба // Хімія і технологія води. – 1998. – Т. 20, № 1. – С. 61–67.

*Поступила в редакцію 07.04.2011*

Рассмотрен вопрос оптимизации процесса биохимической очистки сточных вод. Сделан анализ предложенных методов интенсификации процесса. Проведено исследование усовершенствования процесса очистки сточных вод молочного производства стимулированием микроорганизмов активного ила очистного сооружения электрическим током.

The question of optimization of process of the biochemical cleaning of sewages is considered. Done analysis of the offered methods of intensification. Research of improvement of process of sewer water of suckling production stimulation of microorganisms of active silt of sewage treatment plant an electric current treatment is conducted.