

2. Карелин Я.А., Жуков А.И., Саидаминов А.И. Биохимическая очистка нефтесодержащих сточных вод в аэротенках. – Химия и технология топлив и масел, 1979, № 7, С. 55-58.
3. Mirsch K. Przydatnosc metod analitycznych oczyszczenia produktow naftowych w badanifah nad biochemicznym jczyszczaniem sciekow. – Nafta (PRL), 1978, 34, No 6, 201-205.
4. Ткачук Н.Г. Влияние электрического тока на рост и ферментативную активность микроорганизмов активного ила. – Электронная обработка материалов, 1978, № 4, С. 78-79.

УДК: 628.356;628.113;628.543

**Ткаченко Т.Л., Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Левандовський Л.В. (Україна, Київ)**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Потужний розвиток підприємств харчової промисловості України обумовлює посилену зацікавленість прикладної екології до даної галузі народного господарства. Як відомо, харчова та переробна промисловість має достатньо велику кількість невирішених екологічних проблем, серед яких, в першу чергу, виділяють величезні обсяги стічної води. Нині лічені підприємства харчової промисловості забезпечені власним комплексом споруд для очищення стічних вод. У кращому випадку підприємства скидають свої стоки в міську каналізаційну мережу, але у зв'язку з тим, що в зазначених відходах можуть міститися специфічні забруднення, їх скид у каналізацію обмежений комплексом вимог. Приймання стічних вод підприємств у каналізаційні системи здійснюються згідно з "Правилами приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі каналізаційні міст та селищ України". Так, наприклад, для Києва гранично допустимі норми скиду стічної води складають приблизно 500 мг  $O_2/дм^3$  за показниками забруднення (ХСК), в той час як ці величини стічних вод, наприклад, молокопереробних підприємств перевищують ці норми в кілька разів.

Вищенаведене визначає актуальність спорудження на харчових підприємствах локальних очисних станцій.

Для очищення стічних вод харчової промисловості використовується технологія, що забезпечує повне вилучення забруднень. Саме такою є комплексна технологія, що поєднує різні принципи - механічне, фізико-хімічне та біохімічне очищення стоків від забруднюючих речовин.

Універсальним способом біохімічного (біологічного) очищення є застосування мікроорганізмів в спеціальних очисних спорудах – метантенках чи аэротенках, в залежності від показників забруднення стоків. Концентрація забруднень стоків залежить від асортименту продукції молокозаводу. Так стічні води підприємства, що виробляє питні види молока, деякі кисломолочні продукти є малоконцентрованими (ХСК становить до 2000 мг  $O_2/дм^3$ ), в той час як підприємства, основною продукцією яких є вершкове масло, твердий сир, мають достатньо концентровані стічні води (ХСК – до 5000 мг  $O_2/дм^3$ ).

При невеликій забрудненості стічних вод (близько 1000-1500 мг  $O_2/дм^3$  за ХСК) можна застосовувати традиційну аеробну ферментацію. У випадку масло- та сироробних підприємств (більше 2000 мг  $O_2/дм^3$  за ХСК) немає іншого варіанту, як застосовувати комплексну анаеробно-аеробну ферментацію із застосуванням метанового бродіння на першій, так званій «попередній», стадії блоку біологічного очищення.

Разом з тим метановому бродінню підлягають або весь загальний стік, або лише його найбільш концентровану частину, оскільки малозабруднені води сильно розбавляють загальний стік. Попередньо очищена вода після метанового бродіння направляється в загальний стік, який очищається в типових аэротенках. Причому поняття «попереднє очищення» має на увазі послідовність процесу, а не його допоміжний характер. Так як у відношенні глибини очищення метанова ферментація у всіх випадках є головним складовим етапом технологічного ланцюга, вона дозволяє знизити концентрацію забруднень на 60-95 % в залежності від субстрату та умов проведення процесу.

Анаеробна технологія має цілий ряд суттєвих переваг в порівнянні з загально прийнятою, «традиційною» аеробною.

Метанова ферментація значно розширює діапазон стоків, що придатні до біологічного очищення. Анаеробний процес здійснюється з меншим використанням біогенних елементів, що важливо при обробці стоків з їх дефіцитом. Так, стоки з співвідношенням  $БСК_5:N:P = (300-500):7:1$  придатні для анаеробної обробки. Аеробна ж технологія потребує додавання біогенних елементів з доведенням цього співвідношення до 100:5:1. Крім того складність біохімічного очищення стічних вод молокозаводів методом аеробної ферментації може полягати в тому, що вони містять повільнометаболізуючу лактозу і білки, які погано розкладаються асоціаціями аеробних мікроорганізмів.

Метанове бродіння дозволяє отримати економічно цінний біогаз, що містить 50-80 % метану та є газоподібним паливом [1-2]. Одним з найпростіших шляхів застосування біогазу є його спалювання. Більш перспективним є використання біогазу для отримання електричної енергії, що дає можливість створення власної енергетичної бази, яка покриває 40-50 % загальних витрат енергії. Дане питання є надзвичайно актуальним в умовах сучасних світових тенденцій щодо недостатнього застосування нетрадиційних альтернативних джерел енергії, що неминуче відображається на ефективності технологічного процесу та конкурентоспроможності продукції підприємства.

Порівняння аеробного та анаеробного методів очищення показало, що при анаеробній обробці органічні забруднення можуть на 95 % переходити в біогаз у вигляді метану та вуглекислого газу і лише 5 % перетворюються в біомасу. При аеробній обробці близько 80 % органічних забруднень переходить в біомасу і 20 % окислюється до вуглекислого газу, тобто відбувається знищення значної кількості поживних речовин [3].

Активний мул, що накопичується в метантенках представляє собою цінний продукт, що збагачений вітамінами кобаламінової групи. Так, в активному мулі концентрація вітаміну B<sub>12</sub> складає в середньому 45 – 50 мкг/г сухих речовин [2]. Мул містить всі необхідні для життєдіяльності тварин елементи (азот, фосфор, калій та ін.), всі незамінні амінокислоти, в ньому відсутні яйця гельмінтів, патогенні мікроорганізми, що гинуть в процесі метаногенезу. Все це зумовлює можливість використання попередньо обробленого активного мулу в якості добрива та домішки для корму тварин.

На сьогоднішній день практично всі розвинені країни світу для утилізації концентрованих стоків підприємств харчової промисловості застосовують метаногенез як основну стадію очищення. Широко використовується метанова обробка концентрованих стоків молокозаводів, при цьому ефект очищення становить 80–85 % за ХСК [4-5].

Утилізації піддавались стічні води ВАТ «Яготиський маслозавод», що мали забрудненість за ХСК 4100 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Метанова обробка стоків здійснювалася при температурі 45 °С, що відповідає початковому значенню термофільного діапазону температур. При періодичному режимі доза щодобового завантаження складала 25 та 50% від загального об'єму культуральної рідини. Час бродіння для стоків в анаеробних умовах становив 3 доби.

Результати досліджень по очищенню стічних вод в періодичному режимі наведені в табл. 1.

**Таблиця 1 – Результати очищення та газогенерації при періодичному збродженні стічних вод**

Доза завантаження, %	ХСК <sub>кінц.</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Кількість біогазу, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup> стоку	Вміст CH <sub>4</sub> , %	Глибина збродження, %
25	195	2,30	73,3	95,4
50	220	2,12	68,2	94,8

Найбільш інтенсивно процеси трансформації забруднень та газогенерації відбуваються в експоненціальній та стаціонарній фазах росту мікроорганізмів активного мулу, що і підтверджується дослідними даними. Просліджується чітка залежність між процесами очищення стічної води та синтезу біогазу, найбільше виділення біогазу спостерігається при максимальному споживанні поживних речовин стоків. При збільшенні дози завантаження, інтенсивність процесів очищення та газогенерації знижується, що підтверджує класичні уявлення про діяльність мікроорганізмів в умовах підвищення вмісту забруднюючих речовин.

Оскільки, на практиці для утилізації та очищення концентрованих стічних вод в основному застосовується безперервний режим бродіння, то метою досліджень було визначення таких параметрів, при яких глибина очищення та вихід біогазу досягали б своїх максимальних значень, з одночасним урахуванням економічних показників. Базуючись на результатах попередніх досліджень процесів бродіння, було зроблено висновок про доцільність застосування наведених величин швидкостей розбавлення (табл. 2.).

**Таблиця 2 – Результати очищення та газогенерації при безперервному збродженні стічних вод**

Швидкість розбавлення, D·10 <sup>-2</sup> , год <sup>-1</sup>	ХСК <sub>кінц.</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Кількість біогазу, дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup> стоку	Вміст CH <sub>4</sub> , %	Глибина збродження, %
1,39	750	4,0	75	81,7
2,08	900	3,6	73	78,0

Результати свідчать, що найбільша глибина очищення досягається при найменшій швидкості розбавлення, і, навпаки, вища швидкість розбавлення веде до зниження глибини збродження. Збільшення швидкості розбавлення призводить до підвищення кількості забруднюючих речовин, що впливає на процеси асиміляції забруднень, на склад мікроорганізмів, їх симбіотичні співвідношення тощо. Тому, при вищих швидкостях розбавлення частина забруднюючих речовин проходить неповний шлях розкладу до кінцевих продуктів бродіння, що і позначається на кінцевих результатах.

Вміст в біогазі метану та глибина збродження забруднюючих речовин стічних вод в залежності від швидкості розбавлення наведено на рис. 1., де спостерігається чітка закономірність, що зі збільшенням швидкості розбавлення кількісні та якісні показники біогазу погіршуються.

При збільшенні швидкості розбавлення, кількість забруднень, що подається у метантенк, зростає і це змушує існуючу асоціацію мікроорганізмів адаптуватись до нових умов. Відомо, що швидкість росту метаноутворюючих бактерій нижча, ніж іншої частини симбіозу, тому збільшення швидкості розбавлення може змінювати співвідношення між симбіонтами в сторону зменшення метаногенів. Крім того, в результаті перевантаження системи може спостерігатись ефект інгібування культури надлишковою кількістю поживних речовин або продуктами метаболізму, що утворилися в процесі розкладу перших. На наш погляд, в даних умовах саме ці фактори спрямовують процес в сторону зменшення кількості біогазу.

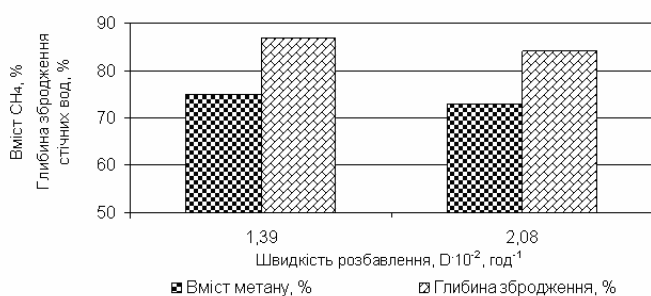


Рис. 1. Вміст метану в біогазі та глибина зародження стічних вод ВАТ «Яготинський маслозавод»

Ці ж міркування знаходять підтвердження і при розгляді якісного складу біогазу. Процентний вміст метану в біогазі має ту ж саму залежність від швидкості розбавлення, що і кількість утвореного біогазу. Так як, в процесі розкладу забруднюючих речовин утворюється вуглекислий газ, а він є одним з компонентів субстрату, що відновлюється метаногенами до метану, то можливо, що збільшення швидкості розбавлення приводить до порушень в цьому механізмі, і деяка частина вуглекислого газу не встигає пройти процес відновлення.

Таким чином, отримані результати переконливо показали, що безперервний режим метанового бродіння концентрованих стоків молокопереробної галузі є найбільш ефективним з існуючих методів і дозволяє досягти значного вилучення забруднень та отримати додаткове джерело енергії – біогаз, що в умовах нестабільного енергетичного стану країни має надзвичайне значення, адже при використанні біогазу в котельнях підприємства можливо виробити до 4,5-5 кВт·год/м<sup>3</sup> теплової енергії, що дозволить цілком перекрити витрати енергії на забезпечення термофільного режиму метанового бродіння.

Крім того були проведенні дослідження по очищенню малоконцентрованих стічних вод ЗАТ «Бровари-молоко», який спеціалізується на виробництві незбираномолочної продукції (концентрація показників забруднень за ХСК становить 1500 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), та доочищенню стічних вод ВАТ «Яготинський маслозавод» після першої стадії – метанового бродіння – способом аеробної ферментації.

Застосування аерації для очищення стоків обмежується вимогами до концентрації забруднень, яка не повинна перевищувати 2000 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> за ХСК. Дослідження показали, що метанова ферментація, як перша стадія очищення концентрованих стічних вод, супроводжується зниженням вмісту забруднюючих речовин, при якому використання аеробних методів стає економічно виправданим.

Обробка аеробним мулом здійснювалась в періодичному режимі в лабораторному аеротенку. Концентрація мулу в залежності від виду стоку та рівня його забруднення складала 3,5 - 5,0 г/дм<sup>3</sup>. Результати по очищенню стоків аеробним активним мулом наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Результати аеробного доочищення стічних вод

Вид стоку	ХСК <sub>поч.</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	ХСК <sub>кінц.</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Час аерації, год.	Навантаження на мул, г ХСК/г	Глибина очищення, %	Приріст мулу, мг/дм <sup>3</sup>
ЗАТ «Бровари-молоко»	1500	60	36	0,575	96,0	299
ВАТ «Яготинський маслозавод»	750	20	12	0,215	97,3	203
	900	45	24	0,295	95,0	215

При аеробній обробці стоків досягається значна глибина очищення. Стічні води, які піддавалися аеробній ферментації, цілком відповідали вимогам скиду у відкриті водойми рибо-господарського, господарсько-побутового та культурно-господарського призначення. Подальша аерація практично не приводила до зниження показників по забрудненню, що вказує на межі можливого очищення при даних умовах. В разі розташування промислового виробництва в межах населених пунктів, які забезпечені мережею каналізаційної системи та власним комплексом очисних споруд, більш доцільним є очищення стічних вод до значень ХСК затверджених «Правилами приймання...», що в свою чергу дасть можливість значно скоротити період перебування культуральної рідини в аеротенку.

Навантаження на мул має безпосередній вплив на кінцеві показники процесу очищення. Збільшення навантаження на мул приводить до зменшення ефективності очищення. Теоретично, при всіх значеннях навантаження на мул, ХСК очищеної води повинно бути однаковим для кожного виду стоку, так як тривалість процесу аерації має різний час, але на практиці цього не спостерігається. Це пов'язано із зростанням кількості речовин, що не піддаються біорозкладу при збільшенні навантаження на мул.

Крім того для характеристики процесу очищення стічних вод, насамперед шляхом аеробної ферментації, застосовуються і інші гідрохімічні показники, наприклад, концентрація нітритів, нітратів та амонійного азоту. Значення концентрації нітритів та нітратів в воді є взаємопов'язаними, оскільки нітрити в процесі очищення окиснюються до нітратів, відповідно збільшуючи їх вміст. Наявність значної кількості нітритів в очищеній воді має негативне значення, оскільки для їх окиснення витрачається розчинний кисень водойми. Підвищення концентрації нітратів в процесі очищення стічної води вважається одним з показників ефективності роботи очисної споруди. Наявність великої кількості іонів NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в стічній воді спричиняє розвиток нітрифікуючих процесів за допомогою бактерій родів *Nitrosocystis* та *Niyrosomonas*, в результаті чого значення амонійного азоту має знижуватися. Отже, зведені результати досліджень представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати досліджень

Вид стоку	Концентрація								
	нітритів, мг/л			нітратів, мг/л			амонійного азоту, мг/л		
	початкове	кінцеве	Е, %	початкове	кінцеве	Е, %	початкове	кінцеве	Е, %
ЗАТ «Бровари-молоко»	2,7	0,8	70,4	30	98	69,4	15	2,5	83,3
ВАТ «Яготинський маслозавод»	2	0,6	70,0	55	112	50,9	10	2,2	78,0

Зміна наведених показників характеризує ефективну роботу активного мулу, що приймає участь в процесі аеробної ферментації.

Проведені дослідження показали, що застосування анаеробно-аеробної технології очищення висококонцентрованих стоків молокопереробного виробництва та «традиційної» аеробної технології для малокоцентрованих стічних вод забезпечує практично повне вилучення забруднень за ХСК, динаміка якого є основною характеристикою процесу очищення стічних вод біохімічним способом. Таким чином, глибина очищення стічних вод ВАТ «Яготинський маслозавод» та ЗАТ «Бровари-молоко» складає 98,9 та 96,0 % відповідно.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баядер В., Доне Е., Бренндорфер М. Биогаз – теория и практика. – М.: 1982. – 148 с.
2. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 207 с.
3. Сравнительный анализ аэробных и анаэробных процесов обработки СВ / Янко В.Г., Свительский В.П., Шуляк Е.В. // Наука и техника в гор. х-ве. – 1990. – № 74. – С. 80–84.
4. Дубровский В.С., Виестур У.Э. Метановое сбраживание с/хоз. отходов. – Рига: Знатье, 1988. – 204 с.
5. Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды / Ворошилов Ю.И., Дурдыбаев С.Д., Ербанова Л.Н. и др. – М.: Агропромиздат, 1991. – 107 с.

УДК 534.29:66.084

**Шевчук Л.І., Афтаназів І.С., Строган О.І. (Україна, Львів)**

#### **ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВОДООЧИЩЕННЯ**

Із поміж різноманітних технологічних процесів водоочищення на особливу увагу заслуговують технологічні процеси очищення води від біологічного забруднення, як визначальні та відповідальні за збереження здоров'я як людей, так і всього тваринного світу. Адже саме біологічно забруднена вода може постати найнебезпечнішим джерелом зараження всього живого тяжковиліковними хворобами, що вже неодноразово траплялось в недалекому минулому під час нищівних епідемій чуми, холери, тифу, дифтерії тощо.

Не оминати увагою слід і той немаловажний чинник, що скажімо, на відміну механічному чи хімічному забрудненню води, де разове очищення чи пониження концентрації забруднення, як правило, може виявитись достатнім і завершальним етапом водопідготовки, через рекомбінаторну здатність до швидкоплинного в часі відновлення та розмноження бактерій, говорити про часткове біологічне водоочищення недоречно. Тільки високий ступінь водоочищення мають забезпечувати сучасні очисні технології та реалізуюче їх обладнання, особливо коли мова йде про питну воду.

Із поміж різноманітних методів фізичних впливів на процеси водопідготовки та водоочищення, у тому числі і від біологічного забруднення, широкого застосування набули методи кавітаційної обробки води, в основу яких покладено ультразвукове [1] та гідродинамічне [2] збурення кавітації в рідинах. Поєднуючи доволі високі ступені хімічного очищення та біологічного знезараження завдяки ініціюванню та активації окисних реакцій у збуреному в рідинах кавітаційному полі ці методи, поряд з тим, не піддають оброблювані рідини подеколи шкідливим потужним високоенергетичним впливам, не передбачають потреби у спеціальних підготівельних та заключних операціях, крім очищення рідин від механічних домішок, можуть органічно поєднуватись із подачею в зону кавітації додаткових газових активаторів та каталізаторів тощо. Однак і цим методам притаманні певні недоліки, зокрема дискретність обробки, незначна продуктивність та висока енергоємність для ультразвукового методу, недостатній ступінь очищення та рівномірності обробки тощо для гідродинамічного.

Тому актуальними залишаються дослідження, спрямовані на створення сучасних новітніх технологій водопідготовки та водоочищення, спроможних поєднувати високу ступінь очищення води із значною продуктивністю, та обладнання для їх реалізації.

*Метою даного дослідження є створення нового ефективного вібраційного обладнання для збурення кавітації в рідинних, дослідження особливостей його застосування для водоочищення та знезараження біологічного забруднення, розробка конструктивних та технологічних схем його промислового використання.*