УДК 628. 33

Саблій Л. А., к.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД СОЛОДОВИХ ЗАВОДІВ В БІОРЕАКТОРАХ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Наведено результати виробничих досліджень анаеробно-аеробного очищення стічних вод з високим вмістом органічних речовин при використанні волокнистих носіїв для іммобілізації мікроорганізмів.
Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, носій іммобілізованих мікроорганізмів.

Представлены результаты производственных исследований анаэробно-аэробной очистки сточных вод с высоким содержанием органических веществ при использовании волокнистых носителей иммобилизованных микроорганизмов.
Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, носитель иммобилизованных микроорганизмов.

It is presented the results of plant researches of anaerobic-aerobic wastewater treatment with high contaminants of organic matter with using the fibrous carrier for microorganisms immobilization.
Key words: wastewater, biological treatment, carrier for microorganisms immobilization.

Склад стічних вод солодових заводів, насамперед, залежить від виду сировини (зерно ячменю) і прийнятої технології, що використовуються при виробництві солоду. Технологічний процес виробництва солоду включає очистку зерен ячменю від домішок, сортування, промивку, замочування та пророщування. Утворений «зелений» солод подають на сушку, потім на ростковідбивні машини. Очищений солод спрямовують в силосні відділення на зберігання і реалізацію.

Основні забруднення, які містяться в стічних водах солодових заводів, обумовлюються хімічним складом ячменю, який залежить від сорту, району вирощування, метеорологічних і ґрунтових умов, масового співвідношення окремих компонентів зерна.

Вибір методів і технологій очищення стічних вод солодових заводів зробити важко, насамперед тому, що вміст органічних речовин, мінеральних добрив, гербіцидів, пестицидів та фунгіцидів, які застосовуються при вирощуванні ячменю, повсякчас змінюється в залежності від сорту ячменю, клімати-

чних умов, агротехніки тощо.

На 80-88% ячмінь складається із сухої речовини, і 12-20% у ньому міститься води. Суха речовина представлена органічними і неорганічними речовинами. Органічні речовини – це, в основному, вуглеводи та білки, а також жири, поліфеноли, органічні кислоти, вітаміни тощо. Неорганічні речовини – це сполуки фосфору, сірки, кремнію, калію, натрію, магнію, кальцію, заліза, хлору. Деяка частина перерахованих елементів входить у склад органічних сполук.

Із вуглеводів в ячмені, в основному, переважають водорозчинні цукри та полісахариди. До останніх належать крохмаль, целюлоза, геміцелюлоза та пектинові речовини. Основна частина полісахаридів представлена крохмалем, який втрачається зерном при пророщуванні на початкових стадіях розвитку зародка і в значній кількості потрапляє у промивні води, які відводять у виробничу каналізацію.

Азотисті речовини в ячмені представлені простими і складними білками, а жири – жирними кислотами, гліцериновмісними ліпідами та ліпідами, які не містять гліцерину. Жири присутні у вільному вигляді в незначній кількості – 0,1%.

Фенольні речовини: прості фенольні кислоти та поліфеноли, присутні в ячмені в кількості близько 0,3%.

Загальний вміст і співвідношення окремих неорганічних речовин залежить від ґрунтово-кліматичних умов та кількості і типу добрив, внесених у ґрунт. Вміст мінеральних речовин визначено у золі ячменю в таких кількостях: P_2O_5 – 35%; K_2O – 21%; SiO_2 – 26%; MgO – 8%; CaO – 3%; Na_2O – 2,5%; SO_3^{2-} – 2%; Fe_2O_3 – 1,5%; Cl – 1%. Близько 80% йонів знаходяться у зв'язаному з органічними сполуками стані. Основна частина мінеральних речовин припадає на фосфор, який входить до складу фітину, нуклеїнових кислот, фосфатидів та інших сполук. Також в ячмені присутні ферменти (α–амілаза, β–амілаза, ендо–β–глюканаза, екзо–β–глюканаза, целобіаза, фосфоліпаза, каталаза, пероксидаза).

Стічні води солодових заводів характеризуються значною нерівномірністю надходження як за витратою, так і за концентрацією та фізико-хімічним складом забруднень, особливо під час залпового скиду води із замочувальних чанів, при зміні якості сировини (сорту ячменю), промивці обладнання тощо.

Виробничі стічні води за зовнішнім виглядом – це рідина темно-бурокоричневого кольору, мутна, яка містить домішки зерна ячменю, шкаралупи, волокна ростків, піноутворюючі речовини.

Середні річні концентрації забруднюючих речовин в стічних водах найбільшого в Україні солодового заводу в м. Славута Хмельницької області (потужність 150000 т солоду на рік) наведено в таблиці.

Фактичні концентрації забруднень на вході в очисні споруди досягають значних величин, мг/дм^3: за завислими речовинами – 1050, БСК$_{20}$ – 2200, ХСК – 3050 (в окремому випадку – 4852), які перевищують прийняті в проек-

ті. Середні показники концентрації, мг/дм^3, завислих речовин, органічних забруднень за ХСК та БСК$_{20}$, азоту амонійного, фосфатів досягають, відповідно, 600-1000, 1700-2100, 1600-1800, 4-13, 35-46.

Добова витрата стічних вод солодового заводу становить 2660м^3.

Таблиця

Характеристика стічних вод солодового заводу

Показники забруднення	Середня концентрація забруднення, мг/дм^3, по роках				
	2006р.	2007р.	2008р.	2009р.	2011р.
Завислі речовини	225	348	613	1054	371
ХСК	532	714	1736	2066	1860
БСК$_{20}$	528	654	1593	1835	1439
Азот амонійний	4,25	4,63	12,65	7,66	5,58
Нітрити	0,089	0,024	0,048	0,064	0,148
Нітрати	5,27	1,64	1,063	3,37	2,27
Фосфати	9,92	14,52	12,67	35,36	46,41
Мінералізація	793	1073	1341	1278	1442
pH*	-	-	-	6,9	7,17

* – pH – безрозмірний показник.

Очисні споруди складаються з пісковловлювачів, усереднювача, первинних відстійників, аеротенків I ступеня (змішувачів), вторинних відстійників, аеротенків II ступеня (витиснювачів), третинних відстійників, контактних резервуарів і фільтрів. Для обробки осадів і надлишкового активного мулу використовують аеробні стабілізатори і підсушування на мулових майданчиках.

Основні проблеми роботи очисних споруд – недостатня якість очищеної води за концентрацією завислих та органічних речовин, сполук азоту, фосфору; піноутворення в аераційних спорудах; недостатня концентрація розчиненого кисню в аеротенку I ступеня (0,5 мг/дм^3); низька концентрація активного мулу в аеротенках – 0,5 г/дм^3; спухання мулу – муловий індекс досягав 280 см^3/г, що призводило до вторинного забруднення води – концентрація азоту амонійного на виході з очисних споруд зростала до 15 мг/дм^3 (на вході – 9,5 мг/дм^3), виносу мулу з третинних відстійників, необхідності частої промивки фільтрів (6 разів на добу). Внаслідок повернення промивної води в усереднювач, а також повернення рециркуляційних потоків активного мулу в аеротенках зберігались і інтенсивно розмножувались нитчасті бактерії.

Для покращення роботи очисних споруд одним із перших заходів повинно бути ефективне видалення грубодисперсних домішок: шкаралупи, зерна, ростків, які погано затримуються на решітках, встановлених в насосній станції, через що відбувається засмічування лотків, пісковловлювачів, первинних відстійників та ін. Видалення даних забруднень можливе при використанні сит з прозорами до 3 мм, флотаційних установок. Використанню флотаційних спо-

руд сприяє легкість фракцій грубодисперсних домішок, а також присутність у стічних водах ПАР.

При біологічному очищенні для живлення мікроорганізмів біоценозу в стічних водах солодового заводу міститься достатня кількість біогенних елементів – сполук азоту і фосфору, без додаткового дозування, що не буде призводити до вторинного забруднення води.

Для стічних вод солодового заводу, що працює в нормальному робочому режимі, характерні значні коливання витрати стічної води і різкі перепади концентрацій забруднюючих речовин в ній. Усе це робить практично нереальним стабільне ефективне очищення стічних вод на традиційних біологічних очисних спорудах, а вимагає розробки принципово нових підходів до обробки цих стоків. Ці новітні методи повинні базуватися на сучасних біотехнологіях, оскільки різниця між ХСК і БСК дуже незначна (див. таблицю), і це означає, що при належній організації процесу такі стічні води можна очистити виключно біологічними способами.

Внаслідок високої концентрації органічних речовин в стічних водах на вході в очисні споруди, а також одноступінчатого їх очищення в аеротенку-змішувачі без використання в даний час аеротенка II ступеня спостерігаються такі недоліки роботи аеротенка, як складність нарощування в аеротенку потрібної дози мулу (2,5-3 г/дм^3), спухання мулу і, як наслідок, погіршення процесу розділення активного мулу та очищеної води у вторинних відстійниках.

Використання аеробного методу очищення висококонцентрованих стічних вод і аеробної стабілізації осадів на очисних спорудах призводить до значних витрат повітря на аерацію, а отже,великих витрат коштів на електроенергію.

В результаті біологічного очищення стічних вод в аеротенках утворюється надлишковий активний мул високої вологості (понад 99%), малої зольності, який потребує великих витрат на стабілізацію та зневоднення.

На очисних спорудах Славутського солодового заводу в 2010-2012 рр. були проведені дослідження біологічного очищення стічних вод заводу в проточній системі анаеробно-аеробних біореакторів з іммобілізованими на носіях ВІЯ мікроорганізмами, на підставі яких рекомендовано технологію багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення висококонцентрованих стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів.

Проведено дослідження на експериментально-виробничій установці продуктивністю 120-250 дм^3/добу, яка складалась з 5 послідовно з'єднаних біореакторів: двох анаеробних I та II ступенів з рециркуляційними насосами і трубками з перфорацією для зрошування носіїв, двох аноксидних теж I та II ступенів та одного аеробного, які влаштовано у пластмасових баках ємністю 50 дм^3 з робочим об'ємом води – 40 дм^3. В аноксидних і аеробному біореакторах влаштовано повітряні трубки з отворами для аерування води. В усіх біореакторах установлено волокнисті капронові носії ВІЯ з діаметром волокна

3 мм для іммобілізації мікроорганізмів з висотою 0,47 м (маса носіїв – 400 г) в анаеробних секціях і 0,36 м (маса – 280 г) – в аноксидних і аеробній.

Установку розміщено між первинними відстійниками та аеротенками І ступеня діючих очисних споруд солодового заводу. Забір стічної води здійснювали з лотка після вторинних відстійників за допомогою заглибленого у воду насоса, який перекачував стічну воду у бак-дозатор ємністю 20 дм^3, розташований вище біореакторів. З бака-дозатора стічна вода самопливом надходила в анаеробний біореактор І ступеня, з якого теж самопливом послідовно проходила через всі наступні біореактори і витікала в той самий лоток (фактично установка була розміщена паралельно лотку, що з'єднує первинні відстійники з аеротенками І ступеня діючих очисних споруд).

Для забезпечення роботи насосів: на вході в експериментальну установку та рециркуляційних (в анаеробних біореакторах І та ІІ), було здійснено підведення електроенергії від щитка на камерах рециркуляції активного мулу.

В аноксидні І та ІІ і аеробний біореактори було підведено повітря від повітропроводу аеротенків.

Для нарощування біомаси на носіях було установлено ВІЇ спочатку в діючих спорудах очисної станції: носії для анаеробних біореакторів – в камері для збору зворотного мулу, який видаляли з вторинних відстійників; для аноксидних і аеробного – в регенераторі аеротенка І ступеня. Через місяць спостерігали значне обростання ВІЙ, розташованих в діючих очисних спорудах. Тоді носії дістали з указаних споруд і установили в біореакторах експериментальної установки. Після цього було здійснено запуск установки і відлагодження режиму роботи: включення насосів (подаючого та двох рециркуляційних в анаеробних біореакторах), коректування витрати стічних вод через установку та витрат повітря в аноксидних і аеробному біореакторах, визначення технологічних параметрів роботи біореакторів, які забезпечують максимальний ефект очищення стічних вод від забруднюючих речовин.

Досягнуто високих показників окисної потужності біореакторів за ХСК, г/(м^3·добу), із зниженням по мірі очищення стічної води в системі анаеробно-аеробних біореакторів: для анаеробних І і ІІ, відповідно, – 6200 і 3400; для аноксидного І і ІІ, відповідно, – 800 і 400; аеробного – 100; при концентраціях іммобілізованої на носіях біомаси, г/дм^3, в анаеробних умовах – 20-30, аноксидних – до 15 і аеробних – до 6.

На експериментально-виробничій установці одержано високі показники очищення стічної води: ефективність за ХСК становила 96-98,8%, за завислими речовинами – 98,5-99%, за амонійним азотом – 98-100%; концентрації в очищеній воді: ХСК – 19-66 мг/дм^3 (норма 84,59 мг/дм^3), азоту амонійного 0-0,49 мг/дм^3 (норма 1,14 мг/дм^3), нітритів – 0,03 мг/дм^3 (норма 0,08 мг/дм^3), нітратів – 15,8 мг/дм^3 (норма 40 мг/дм^3).

За запропонованою технологією (рисунок) стічні води солодового заводу після механічного очищення на пісковловлювачах і усереднення потрібно

спрямовувати в анаеробно-аеробні біореактори, устатковані носіями ВІЯ для іммобілізації мікроорганізмів.

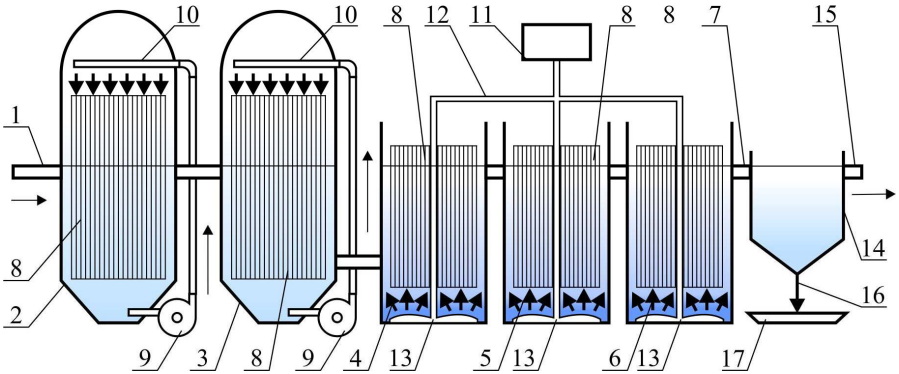

Рисунок. Технологія багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення висококонцентрованих стічних вод:
1 – подача стічних вод; 2, 3 – анаеробні біореактори, відповідно, I і II; 4, 5 – аноксидні біореактори, відповідно, I і II; 6 – аеробний біореактор; 7 – відведення стічних вод; 8 – каркас з волокнами ВІЯ; 9 – циркуляційний насос; 10 – перфорований трубопровід рециркуляційної води; 11 – повітродувна станція; 12 – повітропроводи; 13 – аератори; 14 – вторинний відстійник; 15 – відведення очищеної води; 16 – відведення осаду; 17 – мулові майданчики

З метою використання діючих ємностей на очисних спорудах заводу рекомендується влаштувати проточну систему анаеробно-аеробних біореакторів в аеротенках-змішувачах I ступеня шляхом встановлення по довжині коридорів касет з носіями ВІЯ для іммобілізації мікроорганізмів та створення різних кисневих умов. В трикоридорному аеротенку I коридор використовується як регенератор, II та III – аеротенки. Отже, в регенераторі влаштувати анаеробні умови з перемішуванням за допомогою механічних мішалок, в аеротенках залишити діючу систему аерації з регулюванням подачі повітря для забезпечення аноксидних та аеробних умов.

Використання запропонованої біотехнології дозволить здійснити ефективне видалення органічних речовин вже на перших ступенях обробки висококонцентрованих стічних вод – в анаеробних умовах (75-82%) з меншим приростом мулу порівняно з аеробним процесом, зменшити витрати повітря, а відтак і електроенергії.

В умовах анаеробно-аеробного очищення стічних вод в біореакторах кожного ступеня забезпечується утворення специфічних гідробіоценозів, характерних для даного ступеня, з певними концентраціями і фізико-хімічними властивостями органічних і неорганічних речовин, які поступають в кожну споруду, а також з відповідними кисневими умовами для протікання процесу

очищення, що забезпечує високу ефективність очищення стічних вод солодового заводу: від органічних забруднень за ХСК – до 94-95%; від азоту амонійного – 100%; від завислих речовин – 93-95%.

В анаеробно-аеробній системі біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами створюються умови для реалізації біоконвеєра: від бактерій, дрібних джгутикових, інфузорій до коловерток, червів та інших організмів, з допомогою якого ефективно очищують стічні води від органічних забруднень і регулюється чисельність популяцій гідробіонтів – біологічних очисників води. Внаслідок виїдання бактеріальної частини біомаси гідробіонтами вищих трофічних ланок харчових ланцюгів, які утворюються в біоценозі споруд, відбувається зменшення кількості біомаси та збільшення її мінеральної частини (зольність досягає 50%). Це дозволяє відмовитись від аеробних стабілізаторів, а отже, зекономити витрати повітря.

Використання в технології біореакторів, устаткованих носіями типу ВІЯ, забезпечує стабільність їх роботи – дозволяє витримувати великі коливання добових витрат, сезонну нерівномірність надходження стічних вод завдяки іммобілізації та утримуванню мікроорганізмів на поверхні носіїв. Крім того, зменшується негативний вплив на процеси очищення коливання концентрацій забруднень стічних вод, в тому числі залпове надходження токсичних речовин, оскільки мікроорганізми заселяють носій як іззовні, так і в товщі волоконних скупчень.

В аераційних спорудах знижується ймовірність спухання вільноплаваючого активного мулу, що характерне для аеротенків очисної станції, адже нитчасті бактерії, які спричинюють це явище, добре закріплюються на волокнах ВІЙ і не потрапляють у вторинні відстійники. Це дозволяє значно збільшити концентрацію іммобілізованої біомаси і забезпечує більш високу якість очищеної води.

Завдяки використанню носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами в аноксидних і аеробних біореакторах досягається висока окисна потужність, що дозволяє зменшити їх розміри в 2-3 рази, порівняно з існуючими аеротенками.

Використання рекомендованої біотехнології приведе до економії електроенергії, забезпечить надійність якості очищення, гарантує відповідність показників очищеної стічної води установленим нормам скиду в річку Горинь.

Рецензент: к.т.н., доцент Сівак В. М. (НУВГП)