

## ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ) І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 628.33

<sup>1</sup>М. Ю. Козар, аспірант  
<sup>2</sup>Л. А. Саблій, д.т.н., проф.

### ЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД СОЛОДОВОГО ЗАВОДУ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра екобіотехнології та біоенергетики, e-mail: <sup>1</sup>[marinakpi@gmail.com](mailto:marinakpi@gmail.com), <sup>2</sup>[larisasabliy@mail.ru](mailto:larisasabliy@mail.ru)

*В роботі проведено аналіз недоліків класичної технології біологічного очищення стічних вод солодових заводів. Досліджено та запропоновано анаеробно-аеробну технологію, яка забезпечує високий ступінь очищення стічних вод, зменшення об'єму осадів та зниження витрат коштів на їх обробку. Нова технологія дозволяє ефективно видаляти із стічних вод фосфати у процесі біологічного очищення без додавання реагентів. Імобілізація мікроорганізмів на першій стадії у даній технології запобігає спуханню та винесенню активного мулу.*

**Ключові слова:** стічна вода, активний мул, очищення від фосфатів, система анаеробно-аеробних біореакторів.

**Вступ.** Для стічних вод солодового заводу, що працює в нормальному робочому режимі, характерні значні коливання витрати і різкі перепади концентрацій забруднюючих речовин. Усе це ускладнює очищення стічних вод на традиційних біологічних очисних спорудах та вимагає розробки принципово нових технологічних схем. Склад стічних вод може коливатися в залежності від якості зерна, що поступає на солодовий завод, виду готового продукту, пори року, зміни технологічного процесу. Стічні води солодового заводу містять часточки зерна, шкаралупу, проростки, гербіциди і пестициди, якими оброблялось зерно, ПАРи, пил та землю в результаті промивання зерна, тому їх можна охарактеризувати як складні для очищення.

**Мета статті.** Мета роботи полягає у дослідженні можливості оптимізації очищення стічної води солодових заводів, скорочення енергоспоживання та об'ємів відходів, створення екологічно «дружньої» технології очищення стічних вод.

**Основний матеріал статті.** Стічні води солодових заводів характеризуються як висококонцентровані не лише за органічною речовиною, але й за вмістом сполук з біогенними елементами. Концентрація фосфатів в стічній воді, що поступає на очищення, близько 20 мг/дм<sup>3</sup>, а в окремих випадках досягає і 40-50 мг/дм<sup>3</sup>. Проблема очищення стічних вод з такими характеристиками доволі поширена для підприємств харчової промисловості і може бути вирішена або введенням реагентів як додаткових етапів очищення стічних вод або використанням новітніх технологій. Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати біологічні методи очищення, так як співвідношення між БСК<sub>20</sub> та ХСК не велике (0,8-0,9), і свідчить про те, що майже всі речовини органічного походження можуть бути перетворені живими організмами метаболічно [1].

На більшості солодових заводів очищення стічних вод проводиться за двоступінчатою схемою біологічного очищення, яка представлена на рисунку 1.

Для розгляду та порівняння технологій обрано очисну станцію Славутського солодового заводу, влаштовану за типовою схемою біологічного очищення стічних вод, характерною для даного типу виробництва.

Стічні води (виробничі, господарсько-побутові), що утворюються на підприємстві, перекачуються каналізаційною насосною станцією з території заводу по двох напірних водогоних діаметром 200 мм на роторний фільтр, призначений для видалення твердих механічних домішок із стічних вод. Рідина подається через підвіску, розташовану на зовнішній стороні корпусу, і рівномірно розподіляється в потоці через барабан фільтра. Тверді домішки залишаються на поверхні циліндра, а стічна вода поступає далі на очищення. Тверді домішки, які затримуються роторним фільтром, видаляються в причеп, а звідти вивозяться на мулові майданчики для підсушування та зневоднення.

Після роторних фільтрів стічні води поступають в приймальну камеру і далі – в піскоуловлювачі. Робота піскоуловлювачів оснований на використанні гравітаційних сил. В них затримується пісок крупністю 0,25 мм та більше, швидкість води в піскоуловлювачі складає 0,3 м/с, час перебування стічних вод в піскоуловлювачах - 30 с. Кількість затриманого піску в піскоуловлювачі складає 0,56 м<sup>3</sup>/доб, вологість – 60%. Осад із піскоуловлювачів видаляється гідроелеватором (по Т. П. серії 4.902-7) та подається для підсушування на піскові майданчики.

У зв'язку із нерівномірною подачею стічних вод каналізаційною насосною станцією заводу на очисні споруди та для усереднення стічних вод по концентрації забруднень влаштовано усереднювач (1 шт.) 2-х секційний з розмірами кожної секції в плані  $18,0 \times 9,0$  м, заглиблений на 4,5 м (висота води – 4,0 м) з насосною станцією розміром в плані  $6,0 \times 6,0$  м. Згідно розрахунків, необхідна ємність усереднювача складає  $1450 \text{ м}^3$ . Кількість повітря для перемішування стічних вод в усереднювачі при інтенсивній аерації складає  $240 \text{ м}^3/\text{год}$ , а для попередження випадання завислих речовин –  $200 \text{ м}^3/\text{год}$ . Загальна витрата повітря становить  $440 \text{ м}^3/\text{год}$ .

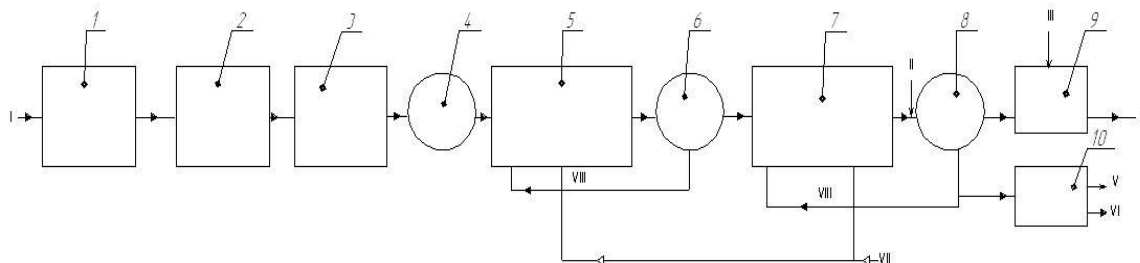


Рис.1. Технологічна схема біологічного очищення стічних вод солодового заводу (існуюча):

- 1 - роторний фільтр; 2 - піскоуловлювачі; 3 - усереднювач; 4 - первинний відстійник; 5 - аеротенк-змішувач; 6 – вторинний відстійник; 7 - аеротенк -витиснювач; 8 - третинний відстійник; 9 - контактний резервуар для знезараження; 10 - фільтр-прес;

- I – стічна вода; II – залізовмісний коагулянт; III – гіпохлорит натрію; IV – очищена вода; V - ущільнений мул; VI - дренажна вода в «голову» очисних споруд; VII - повітря для аерації; VIII – рециркуляційний активний мул

Подача повітря передбачена від повітродувної станції. Усереднювач оснащений аераторами марки Екополімер Ду-110 мм. Необхідний напір насосів для подачі стічних вод із усереднювача на споруди біологічної очистки, згідно проведених розрахунків, складає 12 м. Встановлено 2 насоси (1 робочий, 1 резервний марки ФГ 144/46). Робота насосів автоматизована від рівнів стічних вод в приймальному резервуарі. Далі стічна вода надходить у первинні відстійники. Встановлено первинні відстійники вертикального типу із збірною залізобетону діаметром 9 м за ТП 902-2-166. Висота загальна – 9,3 м, відстійної частини – 4,2 м (води – 3,9 м), конічної – 4,85 м. Ефект прояснення складає 50 %, концентрація завислих речовин в стічній воді після первинних відстійників становить в середньому  $260 \text{ мг}/\text{дм}^3$ . Затриманий осад вологістю 99,7 % (середня витрата –  $17,7 \text{ м}^3/\text{доб}$ ) під гідростатичним напором видаляється по муловій трубі Ду 200 мм в муловий колодязь, а звідти - на подальшу обробку в аеробний стабілізатор. Речовини, що спливають, видаляють з поверхні первинних відстійників вручну в центр відстійника, а звідти - в муловий колодязь. Після первинних відстійників стічна вода поступає на біологічне очищення в аеротенк I ступеня. В камеру змішування подається циркуляційний активний мул із вторинного відстійника. Проектом передбачена камера змішування розміром  $1,5 \times 1,6$  м по серії 4.903-3, тип ПК-2-50.

Робота аеротенка-змішувача ґрунтується на процесі біохімічного окиснення (при подачі повітря) органічних речовин, які знаходяться в стічних водах. Основну роль при цьому відіграють аеробні мікроорганізми, колонії яких утворюють активний мул. Передбачено 2-х секційний трьохкоридорний аеротенк-змішувач за ТП 902-2-211 (1 шт.) розміром в плані  $36 \times 18$  м (ширина коридора – 6 м, глибина – 5,4 м, висота води – 5,0 м, ємність однієї секції –  $1620 \text{ м}^3$ ). Верхній та нижній канали шириною 1,5 м. Перший коридор виділений під регенератор, в другому коридорі проходить змішування активного мулу із стічною водою. Витрата повітря на аеротенк I ступеня складає  $7840 \text{ м}^3/\text{год}$ . Подача повітря передбачена від повітродувної станції. Аеротенк оснащений аераторами марки Екополімер Ду-110 мм. Після аеротенка I ступеня вода надходить до вторинних відстійників, які призначені для осадження мулу із стічної води, яка пройшла очищення в аеротенку-змішувачі I. Проектом передбачено вторинні вертикальні відстійники за ТП 903-2-168 із збірною залізобетону діаметром 9,0 м у кількості 3 шт. (усі робочі). Висота загальна – 8,1 м (води – 7,8 м), відстійної частини – 3,0 м (води – 2,7 м), конічної – 5,1 м. Час перебування стічних вод у вторинному відстійнику має бути  $\geq 1,5$  год., швидкість протікання в центральній трубі  $\leq 30$  мм/с та максимальна швидкість 0,5 мм/с. Далі в камеру змішування подається циркуляційний активний мул із аеротенка II ступеня. Проектом передбачена камера змішування розміром  $1,5 \times 1,6$  м по серії 4.903-3, тип ПК-2-50. Аеротенк II ступеня представлений аеротенком-витиснювачем ТП 902-2-192

розміром в плані  $38,5 \times 29,0$  м (ширина коридора – 4,5 м, довжина – 36,0 м, висота води – 4,4 м, глибина – 5,0 м, ємність однієї секції –  $2140 \text{ м}^3$ ). Верхній, середній та нижній канали шириною  $1,25 \times 1,5$  м. Канал рециркуляційного мулу шириною 1,25 м. У першому коридорі проходить відразу змішування стічної води з активним мулом. Витрата повітря на аеротенк II ступеня складає  $4600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Подача повітря передбачена від повітродувної станції. Аеротенк оснащений аераторами марки Екополімер Ду-110 мм. В трубопровід подається залізовмісний коагулянт для покращення осідання мулу в третинних відстійниках. Проектом очисних споруд передбачено третинні вертикальні відстійники за ТП 903-2-168 із збірною залізобетону діаметром 9,0 м у кількості 3 шт. Висота загальна – 8,1 м, відстійної частини – 3,0 м (води – 2,7 м), конічної – 4,85 м. Тривалість перебування стічних вод у третинному відстійнику має бути не менше 2,84 години, час перебування в муловій камері 2,0 год, швидкість протікання в центральній трубі не більше 30 мм/с та максимальна швидкість протікання - 0,5 мм/с.

Незважаючи на використання вище описаної технологічної схеми на багатьох очисних спорудах харчової промисловості вона містить ряд недоліків. До таких недоліків можна віднести складність обслуговування споруд механічної очистки, необхідність вивозу твердих домішок не рідше одного разу на два дні, засмічення пор фільтра. Неспроможність усереднювача справитися із залповими скидами при високій концентрації органічних речовин (ХСК понад 3000) призводить до спухання активного мулу в аеротенках, його винесення із відстійників, надходження у водойми, потрапляння із дренажними водами на початок очисних споруд і, як наслідок, циркуляція по всім спорудам, що заважає нормальній роботі. При цьому доза мулу в аеротенках знижується, що призводить до підвищення навантаження за органічною речовиною на біомасу. Підвищення концентрації органічних речовин потребує також збільшення кількості кисню на окиснення забруднюючих речовин, в разі його відсутності або наявності в недостатній кількості відбувається пригнічення активного мулу або його загибель і, як наслідок, вивільнення фосфатів та збільшення їх концентрації в очищеній воді. Доволі часто на очисних спорудах спостерігається збільшення концентрації фосфатів у процесі очищення і, як наслідок, вторинне забруднення. Всі ці недоліки спонукають до необхідності удосконалення традиційної технології біологічного.

На підставі проведених досліджень з очищення стічних вод в лабораторних умовах на моделі, яка включала послідовно розташовані біореактори, обладнані носіями з іммобілізованими мікроорганізмами, анаеробний та аеробний реактори з вільноплаваючим активним мулом, розроблено нову технологічну схему біологічного очищення, рис. 2.

За запропонованою технологією стічні води заводу після барабанних сит, пісколовок та усереднювача поступають в аеробний біокоагулятор із завислим шаром активного мулу і надалі у відстійник, де видаляється активний мул, грубодисперсні домішки, шматочки та проростки зерен. Далі стічна вода надходить до анаеробного біореактора, устаткованого носіями ВІА для іммобілізації мікроорганізмів [2]. Для покращення масообміну між стічною водою та іммобілізованими на поверхні носіїв мікроорганізмами, а також для зрошення поверхні носіїв, розташованих у газовій фазі анаеробного біореактора, влаштовано циркуляційний насос з рециркуляційним трубопроводом, по якому подається вода з цієї ж споруди і зрошується поверхня носіїв. Після анаеробного біореактора I ступеня стічна вода надходить в анаеробний біореактор II, обладнаний перемішуванням за допомогою насоса, а потім в аеробний біореактор, на дні якого для створення аеробних умов і масообміну влаштовано дрібнобульбашкову аерацію, що забезпечує концентрацію розчиненого кисню близько  $5 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Очищена стічна вода після споруд біологічного очищення поступає у вторинний відстійник, в якому видаляються частинки біообростань і вільноплаваючого мулу, які виносяться з аеробного біореактора. Прояснену воду можна відводити у водойму. Осад з вторинного відстійника з високим ступенем мінералізації можна видаляти на мулові майданчики для підсушування і утилізувати, наприклад, в якості добрива.

Слід відзначити, що споруди біологічного очищення можна виконувати як в модульному варіанті (окремими спорудами), так і в зблокованому варіанті, в якому в одній споруді шляхом влаштування перегородок із отворами влаштовані анаеробний і аеробний біореактори. Останній варіант може бути використаний при переобладнанні діючих очисних споруд за запропонованою біотехнологією.

За розробленою технологією при витраті стічної води  $65,3 \text{ м}^3/\text{год}$  та концентрації органічних речовин за ХСК після усереднювача -  $2024 \text{ мг}/\text{дм}^3$  об'єм анаеробного біореактора I ступеня становить  $540 \text{ м}^3$ . Для перемішування стічної води в анаеробному біореакторі влаштовано пропелерні мішалки. Також в анаеробному біореакторі розміщені касети з носіями висотою 4 м. Маса носіїв - 18,4 кг.

Об'єм анаеробного біореактора II ступеня -  $315 \text{ м}^3$ , в ньому розміщені мішалки для

перемішування. Мул не іммобілізується і знаходиться в завислому стані. Активний мул разом із стічною водою відводиться в аеробний біореактор. Аеробний біореактор загальним об'ємом  $2975\text{ м}^3$  представляє собою аеротенк-витиснювач. Витрата повітря на аерування -  $838,7\text{ м}^3/\text{год}$ . Після аеротенка суміш води та мулу надходить до третинних відстійників, звідки рециркуляційний мул повертається до анаеробного біореактора II ступеня, а вода знезаражується та насичується киснем перед скидом у водойму.

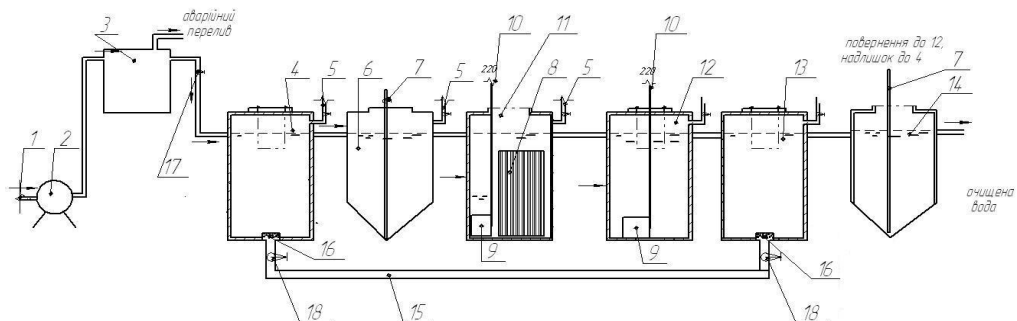


Рис. 2. Технологічна схема очищення стічних вод солодового заводу в системі анаеробно - аеробних біореакторів:

- 1 - стічні води після усереднювача; 2 - насос в розподільному лотку перед первинними відстійниками; 3 - накопичувальна ємність; 4 - аеробний біокоагулятор із завислим шаром мулу; 5 - трубопровід для відбору проб на аналіз; 6 - відстійник; 7 - трубопровід для видалення осаду; 8 - волокнистий носій типу "ВІЯ"; 9 - насос для перемішування; 10 - підведення електрики до насосів; 11 - анаеробний біореактор з волокнистими носіями; 12 - анаеробний біореактор з вільноплаваючим активним мулом; 13 - аеробний біореактор з вільноплаваючим активним мулом; 14 - відстійник; 15 - трубопровід подачі повітря; 16 - аератор; 17 - вентиля для регулювання витрати води; 18 - кран для регулювання подачі повітря

Використання в технології біореакторів, устаткованих носіями з іммобілізованими мікроорганізмами типу ВІЯ, дозволяє витримувати великі коливання витрат стічних вод і концентрацій забруднень на вході (мікроорганізми заселяють носій ззовні і всередині волокон джгутових ниток) і забезпечує стабільність їх роботи. В спорудах зменшується небезпека порушення процесу при залповому надходженні токсичних забруднень.

В умовах багатоступеневого біологічного 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 кожен споруду, а також з відповідними кисневими умовами для протікання процесу очищення, що забезпечує високу ефективність очищення стічних вод за впровадженою біотехнологією.

В анаеробних біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами знижується ймовірність спухання вільноплаваючого активного мулу, що характерне для аеротенків очисної станції, адже нитчасті бактерії, які спричиняють це явище, добре закріплюються на волокнах ВІЯ і не потрапляють у наступні біореактори, а зниження концентрацій органічних речовин на цих стадіях дозволяє також уникнути токсичного впливу на активний мул в системі анаеробно-аеробних біореакторів. Це забезпечує високу якість очищеної води. Завдяки використанню носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами в біореакторах досягається висока окисна потужність, що дозволяє зменшити їх розміри в 5-10 разів порівняно з класичними аеротенками. Компактність біореакторів дає змогу зменшити площу споруд порівняно з класичними спорудами і знизити витрати на їх будівництво.

**Висновки.** Розроблена біотехнологія забезпечує високу надійність якості очищення – відсутність проскоку за завислими речовинами, гарантію відповідності якості очищеної стічної води установленим нормам скиду в річку. Концентрації забруднень в очищеній воді при впровадженні біотехнології на очисних спорудах солодового заводу не перевищують гранично-допустимі до скиду в річку: ХСК –  $78\text{ мг/дм}^3$  (норма  $84,59\text{ мг/дм}^3$ ), азот нітратів –  $1\text{ мг/дм}^3$  (норма  $40\text{ мг/дм}^3$ ), фосфатів –  $5\text{ мг/дм}^3$  (норма  $10\text{ мг/дм}^3$ ). Використання рекомендованої біотехнології приведе до економії електроенергії, забезпечить надійність якості очищення, гарантує відповідність показників очищеної стічної води установленим нормам скиду в річку.

#### Список літературних джерел

1. Козар М.Ю. Ефективність біологічного видалення сполук фосфору із стічних вод в різних кисневих умовах / М.Ю. Козар, Л.А. Саблій // Енергетика: економіка, технології, екологія. -2012.-№2.-С 104-108.
2. Пат. 70203 України, МПК С02F 3/030. Спосіб біологічного очищення стічних вод з використанням гранульованого активного мулу / Кузьмінський Є.В. Саблій Л.А., Жукова В.С., Козар М.Ю.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «КПІ». – № u201115687; заявл. 30.12.11; опубл. 25.05.12.