

УДК 628.33

**Козар М. Ю., аспірант** (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ), **Саблій Л. А., д.т.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### **ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД СОЛОДОВОГО ЗАВОДУ ВІД ФОСФАТІВ В СИСТЕМІ АНАЕРОБНО-АЕРОБНИХ БІОРЕАКТОРІВ**

**Наведено технологію очищення стічних вод солодового заводу від фосфатів в системі анаеробно-аеробних біореакторів. Технологія містить блоки очищення для зниження концентрації завислих речовин, ХСК, фосфатів та інших забруднюючих речовин.**

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

**З розвитком харчової** промисловості України, а саме хлібопекарських, кондитерських, пивоварних заводів, для внутрішнього ринку та на експорт виробництво солоду значно збільшилось. У спиртовій промисловості солод використовують для оцукрювання крохмалю. У пивоварінні він є основною сировиною для виробництва пива, з солоду виробляють алкоголь, у винокурінні – спирти, віскі, різноманітні елітні напої. Потреба у виготовленні солоду зростає так само, як і об'єм стічних вод солодових заводів, які характеризуються значною нерівномірністю надходження як за витратою, так і за складом і концентрацією забруднюючих речовин.

Вміст фосфатів у стічних водах (господарсько-побутових та харчової промисловості) за останні п'ять років змінився з 9 мг/дм<sup>3</sup> до 40 мг/дм<sup>3</sup>, проте технології водоочищення на заводах майже не змінюються та не модифікуються. Це призводить до потрапляння фосфатів у водойми із недостатньо очищеними стічними водами. Як наслідок, у водоймі відбуваються евтрофікація, розвиток водоростей, утворення плівки на поверхні, яка порушує газообмін, при цьому знижується концентрація розчиненого кисню, загибель деяких видів гідробіонтів, замор риби, що разом призводить до вторинного забруднення водойми (неприємний запах, зміна кольору, непридатність для використання).

**На більшості солодових заводів** очищення стічних вод проводиться за двоступінчатою схемою біологічного очищення та доочищення в наступних спорудах: усереднювач, пісколовлювачі, первинні відстійники, аеротенки I ступеня (змішувачі), вторинні відстійники, аеротенки II ступеня (витиснювачі), третинні відстійники, контактні резервуари та фільтри. Для обробки осаду і надлишкового активного мулу використовують аеробні стабілізатори, фільтр-преси, мулові майданчики.

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. Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати в основному біологічні методи очищення, оскільки різниця між ХСК та БСК<sub>20</sub> не велика і свідчить про те, що майже всі речовини органічного походження можуть бути перетворені живими організмами метаболічно.

Для більш детального вивчення було обрано стічні води Славутського солодового заводу, на очисні споруди якого поступають стоки від виробничих процесів та господарсько-побутові в результаті водокористування робітниками заводу.

**Склад стічних вод** може коливатися залежно від якості зерна, що поступає на солодовий завод, виду готового продукту, пори року, зміни технологічного процесу. Стічні води солодового заводу містять часточки зерна, шкаралупи, проростки, гербіциди і пестициди, якими оброблялось зерно, ПАРи, пил та землю в результаті промивання зерна, тому їх можна охарактеризувати як складні для очищення. Показники стічних вод, що надходять на станцію очищення за останній рік, наведено в таблиці.

Як видно з таблиці, стічні води характеризуються високим значенням ХСК, проте лише четверта частина з цього значення припадає на органічні речовини, що легко піддаються деструкції мікроорганізмами та можуть бути спожиті ними в першу чергу. Тому для деструкції складних органічних речовин пропонується використовувати мікроорганізми, іммобілізовані на носіях.

**В запропонованій технології** (рис. 1) стічна вода насосом подається в накопичувальну ємність, на вихідному трубопроводі з якої встановлено вентиль для регулювання витрати. Далі стічна вода подається на біокоагуляцію для вилучення завислих речовин та грубодисперсних часточок, при цьому знижується концентрація фосфатів, які видаляються у вигляді осаду, утвореного в результаті їх взаємодії з присутні-

ми йонами кальцію та заліза. Після біокоагулятора суміш стічної води та мулу подається на розділення у відстійник та надалі у біореактор з іммобілізованими мікроорганізмами для розкладення складних органічних речовин. В цих біореакторах планується основне зниження концентрації органічних речовин та перетворення їх в більш доступні для активного мулу в наступних біореакторах.

Таблиця

Склад стічних вод Славутського солодового заводу за період  
травень 2012 р.– травень 2013 р.

Місяць	ХСК, мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	Нітраги, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>
Травень 2012	3076	1790*	512	1278	11,74	0,152	2,41	63,1
Червень 2012	2872	2540*	492	1275	14,11	0,056	1,43	58,44
Липень 2012	1363	1100*	236	1380	10,89	0,012	2,34	64,06
Серпень 2012	1475	1040*	340	1242	7,99	0	1,93	58,99
Вересень 2012	909	830	172	1204	2,11	0,522	1,39	29,51
Жовтень 2012	990	640	72	1290	1,40	0,010	1,91	44,36
Листопад 2012	1000	580	208	1277	1,23	0	1,74	29,45
Грудень 2012	1240	820	160	1600	0,93	0	0	44,85
Січень 2013	1651	1250	360	1902	6,82	0	0,99	57,5
Лютий 2013	2156	1480	244	1779	6,31	0	1,96	48,5
Березень 2012	1869	925	204	1774	4,57	0,008	2,72	33,47
Квітень 2013	2000	940	240	1286	13,04	0	3,1	37,84
Травень 2013	2400	1140	288	2464	9,64	0,031	1,74	35,67

\*- БСК<sub>20</sub>

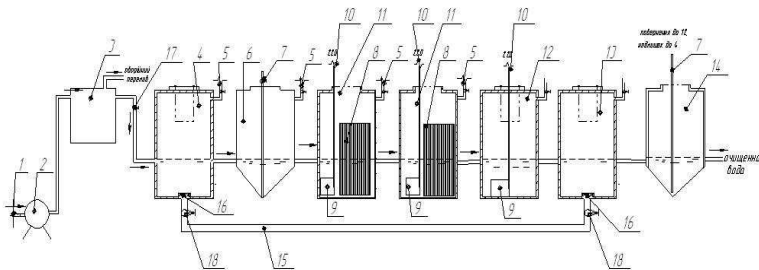


Рис. 1. Технологічна схема очищення стічних вод солодового заводу в системі анаеробно-аеробних біореакторів:

1 – стічні води після усереднювача; 2 – насос в розподільчому лотку перед первинними відстійниками; 3 – накопичувальна ємність; 4 – аеробний біокоагулятор із завислим шаром мулу; 5 – трубопровід для відбору проб; 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 – вентиль для регулювання витрати води; 18 – кран для регулювання подачі повітря

В системі анаеробно-аеробних біореакторів відбувається вилучення надлишкової концентрації фосфатів та остаточне видалення органічних речовин із стічної води. В основі біологічного методу видалення фосфору лежить здатність деяких видів бактерій запасати в більшій кількості розчинні ортофосфати в клітинах у формі нерозчинного поліфосфату. В аеробній зоні в клітинах відбувається окиснення раніше запасених органічних речовин, і виділена енергія використовується бактеріями для поглинання ортофосфату з водного середовища, перетворення його в поліфосфат для повторення циклу і росту клітини. Схематично перетворення зображено на рисунку 2 [1-4]. Оскільки в анаеробній зоні гетеротрофні бактерії активного мулу не отримують достатньо субстрату для росту, використання такого фосфатно-глікогенного циклу дає перевагу бактеріям, здатним акумулювати P, і дозволяє їм сформувати значну частину біомаси мулу. Суміш стічної води та активного мулу переходить із анаеробного біореактора в аеробний, таким чином, зміна кисневих умов відбувається за рахунок просторового розділення, регулювання подачі повітря, після чого суміш переходить для розділення у відстійник.

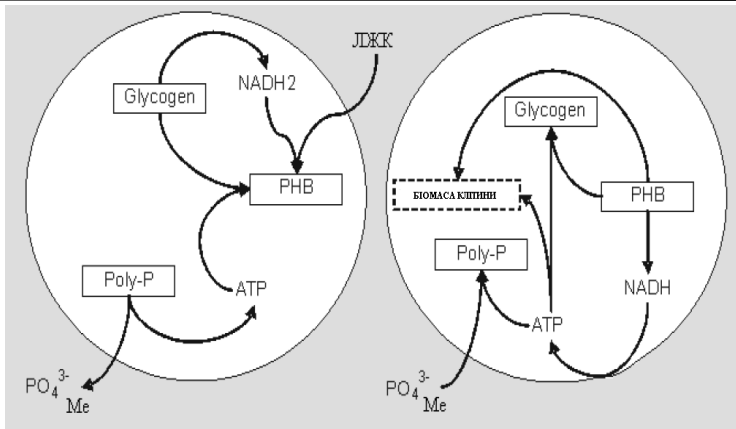


Рис. 2. Схема перебігу процесів в мікробній клітині при зміні кисневих умов з анаеробних на аеробні

Дані, отримані під час лабораторних досліджень [5], показали, що технологія з використанням анаеробно-аеробних реакторів дозволяє досягти концентрації фосфатів у стічній воді 0,5-1,5 мг/дм<sup>3</sup> при використанні модельних розчинів з концентрацією фосфатів до 35 мг/дм<sup>3</sup>. Визначення вмісту фосфатів в стічній воді проводили фотоколориметричним методом, завдяки тому, що ортофосфати після реакції з молібдатом в середовищі сірчаної кислоти в присутності іонів тривалентної сурми і після відновлення аскорбіновою кислотою дають синє забарвлення, що дозволяє виміряти концентрацію фосфатів. Оптичну густину на спектрофотометрі вимірювали при  $\lambda=670$  нм. Концентрацію органічних речовин визначали стандартним біхроматним методом (показник ХСК).

В лабораторних умовах найбільшої ефективності очищення від фосфатів досягли при обробленні стічної води впродовж 3 годин в анаеробних умовах і 4 годин в аеробних умовах [5]. Оскільки попередні дослідження проводились на модельних розчинах, де основними джерелами вуглецю для мікроорганізмів були легкі для біологічної деструкції речовини, та враховуючи великі значення ХСК стічної води, пропонується в перших біореакторах використовувати носії типу ВІА, на яких іммобілізовані мікроорганізми. Час перебування стічної води в біореакторі з носіями передбачається впродовж 8 годин для отримання легких для біологічної деструкції органічних речовин. Оскільки об'єм ємностей однаковий (робочий об'єм біореакторів 40 дм<sup>3</sup>), то пропонується встановити два біореактори, адже час перебування в біо-

реакторах з носіями вдвічі більший ніж час перебування в біореакторах з вільноплаваючими мікроорганізмами. Перетворення мулу у такий, що здатний до видалення фосфору в більшій кількості з адаптацією до змінних анаеробних і аеробних умов займає 40-100 днів, але можливий негативний результат через непрогнозовані умови. Фосфати накопичуються організмами, що зберігають поліфосфати як енергоносії, резерв внутрішньоклітинних гранул. В анаеробних умовах у присутності продуктів бродіння вони вивільняють ортофосфат, використовуючи енергію для накопичення простих органічних речовин та накопичування у вигляді полігидроксіалканату (ПГА), оскільки полі-β-гідроксибутират (ПГБ). В аеробних умовах організми, що накопичують фосфати, перетворюють ортофосфати та зберігають у якості поліфосфатів. Мікроорганізми, що накопичують фосфати, можуть конкурувати з іншими аеробами в цих умовах через їх здатність до уловлювання та споживання частини наявних органічних речовин відповідно до первісних анаеробних умов, а в анаеробів відсутня конкуренція через більш високі енергетичні затрати у їх ферментативному обміні.

**Ефективність запропонованої технології** планується перевірити на Славутському солодовому заводі, стічні води якого можна охарактеризувати як такі, що містять підвищені концентрації фосфатів у своєму складі. Нажаль існуюча технологія не забезпечує необхідний рівень очищення без додавання реагентів, що є додатковою статтею витрат коштів та ускладнює обробку утворених осадів. Для дослідження параметрів роботи та перевірки ефективності роботи очисних споруд по запропонованій технології планується розробити та сконструювати виробничу установку. Загальний робочий об'єм передбачається близько 300 дм<sup>3</sup>.

1. Удаление соединений фосфора из сточных вод / Подорван Н. И., Глоба Л. И., Куликов Н. И., Гвоздяк П. И. // Химия и технология воды. – 2004. – 26, № 6. – С. 591-610. 2. Дмитренко Г. М. Закономірності безкисневого дихання аеробних бактерій / Г. М. Дмитренко // Доповіді НАН України. – 2008. – № 10. – С. 170-177. 3. Environmental Protection Agency, Design manual. Nutrient control US EPA/600/R-09/012 January 2009. 4. Jiang F. Estimation Of Costs Of Phosphorus Removal In Wastewater Treatment Facilities: Construction De Novo / F. Jiang, M. B. Beck, R. G. Cummings, K. Rowles, and D. Russell // Water Policy Working Paper. – #2004-010. 5. 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.

Рецензент: д.т.н., професор Гіроль М. М. (НУВГП)

---

**Kozar M. Y., Post-graduate Student** (National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev), **Sablii L. A., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

### **PHOSPHATE REMOVAL THROUGH MALT PLANT WASTEWATER TREATMENT IN THE SYSTEM OF ANAEROBIC-AEROBIC BIOREACTORS**

The technology of wastewater treatment Malt from phosphate in the anaerobic-aerobic bioreactors is presented. Technology has blocks for reducing the concentration of: suspended solids, difficult-organic compounds, phosphates and organic substances remaining after the first two.

**Keywords:** wastewater, activated sludge, phosphate removing, system of anaerobic-aerobic bioreactors.

---

**Козарь М. Ю., аспирант** (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев), **Саблий Л. А., д.т.н., профессор** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СОЛОДОВОГО ЗАВОДА ОТ ФОСФАТОВ В СИСТЕМЕ АНАЭРОБНО-АЭРОБНЫХ БИОРЕАКТОРОВ**

Приведена технология очистки сточных вод солодового завода от фосфатов в системе анаэробно-аэробных биореакторов. Технология содержит блоки для снижения концентрации взвешенных веществ, трудноокисляемых органических веществ, фосфатов и оставшихся органических веществ после первых двух.

**Ключевые слова:** сточная вода, активный ил, очистка от фосфатов, система анаэробно-аэробных биореакторов.

---