

ЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД

Л.А. Саблій

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
e-mail: larisasabliiy@mail.ru

Наведено результати виробничих досліджень анаеробно-аеробного очищення стічних вод з високим вмістом органічних речовин при застосуванні волокнистих носіїв для іммобілізації мікроорганізмів, які показали, що використання запропонованої технології дозволяє досягнути високих показників окисної потужності біореакторів за ХСК, г/(м³·добу), із зниженням по мірі очищення стічної води в системі анаеробно-аеробних біореакторів: для анаеробних I і II, відповідно, – 6200 і 3400; для аноксидних I і II, відповідно, – 800 і 400; аеробного – 100; при концентраціях іммобілізованої на носіях біомаси, г/дм³, 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/дм³, азоту амонійного – 0-0,49 мг/дм³, нітритів – 0,03 мг/дм³, нітратів – 15,8 мг/дм³, які відповідають встановленим нормам скиду у водойми.

Внаслідок виїдання бактеріальної частини біомаси гідробіонтами вищих трофічних ланок харчових ланцюгів, які утворюються в біоценозі біореакторів, відбувається зменшення кількості біомаси, збільшення її мінеральної частини (понад 50%) та зниження витрат коштів на обробку осадів.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, біореактор, анаеробні умови, аеробні умови, носій іммобілізованих мікроорганізмів.

Вступ

Стічні води промислових підприємств харчової галузі здебільшого є висококонтентними за органічними речовинами. 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, кліматичних 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 відносять крохмаль, целюлозу, геміцелюлозу 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 полі феноли - 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, енд- 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-буро-коричневого кольору, мутна, яка містить домішки зерна ячменю, шкаралупи, волокна ростків, піноутворюючі речовини.

Фактичні концентрації забруднень в стічних водах на вході в очисні споруди найбільшого в Україні солодового заводу в м. Славути Хмельницької області (потужність 150000 т солоду на рік) досягають значних величин, mg/dm^3 : за завислими речовинами – 1050, БСК20 – 2200, ХСК – 3050 (в окремому випадку – 4852), які перевищують прийняті в проекті. Середні показники концентрації, mg/dm^3 , завислих речовин, органічних забруднень за ХСК та БСК20, азоту амонійного, фосфатів досягають, відповідно, 600-1000, 1700-2100, 1600-1800, 4-13, 35-46.

Добова витрата стічних вод солодового заводу становить $2660m^3$.

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.

Постановка задачі

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 ($0,5 mg/dm^3$); низька концентрація активного мулу в аеротенках ($0,5 g/dm^3$); спухання мулу (муловий індекс досягав $280 cm^3/g$), що призводило до вторинного забруднення води (концентрація азоту амонійного на виході з очисних споруд зростала до $15 mg/dm^3$, на вході – до $9,5 mg/dm^3$), 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 споруд сприяє легкість фракцій грубодисперсних домішок, а також присутність у стічних водах поверхнево-активних речовин (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/дм³), 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.

Об'єкти і методи досліджень

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 запропоновано нову технологію багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення висококонцентрованих стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів [1, 2].

Проведено дослідження на експериментально-виробничій установці продуктивністю 120-250 дм³/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 дм³ з робочим об'ємом води – 40 дм³. В аноксидних і аеробному біореакторах влаштовано повітряні трубки з отворами для аерування води. В усіх біореакторах встановлено 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 I 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 дм³, розташований вище біореакторів. З бака-дозатора стічна вода самопливом надходила в анаеробний біореактор I 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 I ступеня діючих очисних споруд).

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

В аноксидні I та II і аеробний біореактори було підведено повітря від повітропроводу аеротенків.

Для нарощування біомаси на носіях було встановлено ВІІ 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 I ступеня. Через місяць спостерігали значне обростання ВІІ, 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.

Результати досліджень та їх обговорення

Використання запропонованої технології дозволяє досягнути високих показників окисної потужності біореакторів за ХСК, г/(м³·добу), із зниженням по мірі очищення стічної води в системі анаеробно-аеробних біореакторів: для анаеробних I і II, відповідно, – 6200 і 3400; для аноксидних I і II, відповідно, – 800 і 400; аеробного – 100; при концентраціях іммобілізованої на носіях біомаси, г/дм³, в анаеробних умовах – 20-30, аноксидних – до 15 і аеробних – до 6.

Для досліджень процесу очищення стічних вод солодового заводу було використано експериментально-виробничу установку, параметри якої наведено в таблиці.

Таблиця. Конструктивні та технологічні параметри експериментально-виробничої установки

Найменування	Анаеробний біореактор I ступеня	Анаеробний біореактор II ступеня	Аноксидний біореактор I ступеня	Аноксидний біореактор II ступеня	Аеробний біореактор
Об'єм бака, дм ³	50	50	50	50	50
Об'єм води, дм ³	40	40	40	40	40
Висота носіїв ВІА, м	0,47	0,47	0,36	0,36	0,36
Маса носіїв, г	400	400	280	280	280
Діаметр волокна носія, мм	3	3	3	3	3
Питома активна поверхня носіїв в біореакторах, м ² /м ³	4000	4000	1500	500	400
Витрата стічної води, дм ³ /добу	120-250	120-250	120-250	120-250	120-250
ХСК на вході, мг/дм ³	1651	743	297	134	54
ХСК на виході, мг/дм ³	743	297	134	54	19
Ефект очищення за ХСК, %	55,0	60	54,9	59,7	64,8
Концентрація завислих речовин, мг/дм ³ : на вході	938	-	50	-	42
на виході	-	50	-	42	14
Ефект очищення за завислими речовинами, %	-	94,7	-	16	66,7
Концентрація амонійного азоту, мг/дм ³ : на вході	14,16	-	24,72	-	5,52
на виході	-	24,72*	-	5,52	0
Ефект очищення за амонійним азотом, %	-	-	-	77,7	100
Окисна потужність, г/(м ³ ·добу)	6200	3400	800	400	100
Витрата повітря, м ³ /м ³	-	-	5,12	3,05	4,42

* - збільшення концентрації амонійного азоту на виході з анаеробного біореактора II ступеня можна пояснити розкладенням білків в анаеробних умовах з виділенням амонійного азоту.

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/дм³ (норма - 84,59 мг/дм³), азоту амонійного 0-0,49 мг/дм³ (норма - 1,14 мг/дм³), нітритів - 0,03 мг/дм³ (норма - 0,08 мг/дм³), нітратів – 15,8 мг/дм³ (норма - 40 мг/дм³).

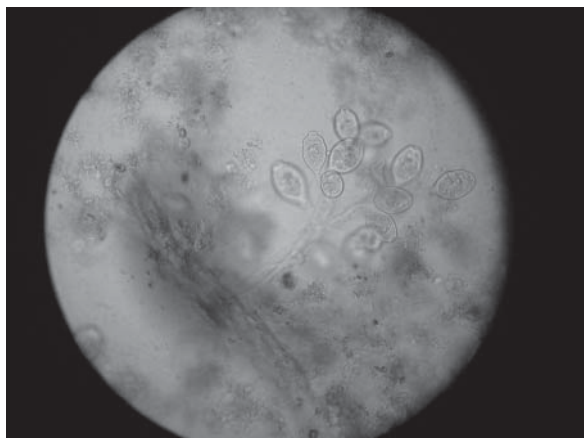
За запропонованою технологією стічні води солодового заводу після механічного очищення на пісковловлювачах і усереднення потрібно спрямовувати в анаеробно-аеробні біореактори, устатковані носіями ВІЯ для іммобілізації мікроорганізмів.

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 необхідно 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.

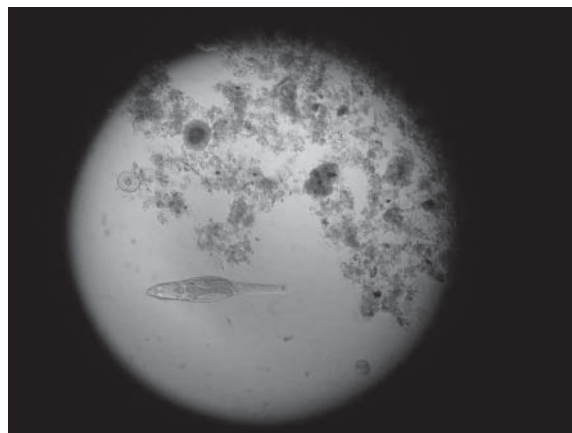
Використання запропонованої біотехнології дозволить здійснити ефективне видалення органічних речовин вже на перших ступенях обробки висококонцентрованих стічних вод – в анаеробних умовах (75-82%) з меншим приростом мулу порівняно з аеробним процесом, зменшити витрати повітря, а відтак і електроенергії.

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 кожную 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 джугутикових, інфузорій до коловерток (рисунок), черв'яків 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 перевищує 50%). Це дозволяє відмовитись від аеробних стабілізаторів, а отже, зекономити витрати повітря.



а



б

Рис. Мікрофотознімки (x200) біообростань (а) та вільноплаваючого активного мулу (б) в аеробних біореакторах.

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 ззовні, 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.

Висновки

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 встановленим нормам скиду в річку Горинь.

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Л.А. Саблий

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно
e-mail: larisasabliy@mail.ru

Представлены результаты производственных исследований анаэробно-аэробной очистки сточных вод с высоким содержанием органических веществ при использовании волокнистых носителей иммобилизованных микроорганизмов, которые показали, что использование предложенной технологии позволяет достичь высоких показателей окислительной мощности биореакторов по ХПК, г/(м³·сут), с понижением по мере очистки сточной воды в системе анаэробно-аэробных биореакторов: для анаэробных I и II, соответственно, – 6200 и 3400; для аноксидных I и II, соответственно, – 800 и 400; аэробного – 100; при концентрациях иммобилизованной на носителях биомассы, г/дм³, в анаэробных условиях – 20-30, аноксидных – до 15 и аэробных – до 6.

На экспериментально-производственной установке получены высокие показатели очистки сточной воды: эффективность по ХПК составила 96-98,8%, по взвешенным веществам - 98,5-99%, по аммонийному азоту - 98-100%; концентрации в очищенной воде: ХПК - 19-66 мг/дм³, азота аммонийного 0-0,49 мг/дм³, нитритов - 0,03 мг/дм³, нитратов - 15,8 мг/дм³, которые соответствуют установленным нормам сброса в водоемы.

В результате выедания бактериальной части биомассы гидробийонтами высших трофических звеньев пищевых цепей, которые образуются в биоценозе биореакторов, происходит уменьшение количества биомассы, увеличение ее минеральной части (больше 50%) и снижение денежных расходов на обработку осадков.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, биореактор, анаэробные условия, аэробные условия, носитель иммобилизованных микроорганизмов.

EFFECTIVE TECHNOLOGY OF BIOLOGICAL TREATMENT OF HIGH CONCENTRATED WASTEWATER

L. Sabliy

National university of water management and nature resources use, Rivne, Ukraine

e-mail: larisasabliy@mail.ru

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. In the using proposed technology it can achieved high oxidation capacity of bioreactors in COD, g/(m³·day), with decrease at degree of wastewater treatment in the system of anaerobic-aerobic bioreactors: in anaerobic I and II, respectively, – 6200 and 3400; in anoxic I and II, respectively, – 800 and 400; aerobic – 100; at concentrations of immobilized biomass on carriers, g/dm³, in anaerobic conditions – 20-30, anoxic – to 15 and aerobic – to 6.

On pilot plant establishment it was obtained the high results of wastewater treatment: effect on COD - 96-98,8%, on suspended solids - 98,5-99%, on ammonium nitrogen - 98-100%; the concentrations in treated water: COD - 19-66 mg/dm³, ammonium nitrogen - 0-0,49 mg/dm³, nitrites - 0,03 mg/dm³, nitrates - 15,8 mg/dm³, respond to norms.

In the results of eating biomass bacterial part by hydrobionts of high trofical levels of bioreactors biocenose it is provided reduction of biomass amount, increasing its mineralization (over 50%) and reduction of wastes treatment costs.

Key words: wastewater, biological treatment, bioreactor, anaerobic conditions, aerobic condition, carrier for microorganisms immobilization.

Список літератури:

- 1) Пат. 94856 України, МПК C02F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Кузьмінський Є.В., Саблій Л.А., Жукова В.С. – № а 2010 06126; заявл. 20.05.10, опубл. 10.06.11, Бюл. № 5.
- 2) Пат. 97747 України, МПК C02F 3/02. Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Глоба Л.І., Саблій Л.А., та ін. – № а 2010 14394; заявл. 01.12.10, опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.