

УДК 628.3

ТЕХНОЛОГІЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД УКРАЇНСЬКОЇ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ

Л.А. Саблій, Є.В. Кузьмінський, В.С. Жукова, М.В. Бляшина

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, пр. Перемоги, 37, Larisasabliy@mail.ru*

Станція Академік Вернадський знаходиться в Антарктиці в зоні низьких температур (влітку близько 0 °С, взимку –18 °С), відноситься до малих об'єктів водовідведення і характеризується малими витратами господарсько-побутових стічних вод, нерівномірним характером їх надходження в каналізаційні трубопроводи і нерівномірним якісним та кількісним складом забруднюючих речовин. Розроблено нову ефективну технологію біологічного очищення стічних вод з іммобілізованими мікроорганізмами. Встановлено, що найбільш ефективним носієм для іммобілізації мікроорганізмів є капронове текстуроване джгутове волокно «ВІЯ». За допомогою його використання досягнуто концентрації іммобілізованої біомаси до 30 г/дм³, що дає змогу підвищити деструктивну потужність біореакторів, зменшити їх розміри, досягти високого ступеня очищення стічної води.

Технология биологической очистки сточных вод на Украинской антарктической станции Академик Вернадский

Л.А. Саблій, Е.В. Кузьминский, В.С. Жукова, М.В. Бляшина

Реферат. Станция Академик Вернадский находится в Антарктике в зоне низких температур (летом около 0° С, зимой –18° С), относится к малым объектам водоотведения и характеризуется малыми расходами хозяйственно-бытовых сточных вод, неравномерным характером их поступления в канализационные трубопроводы и неравномерным качественным и количественным составом загрязняющих веществ. Разработана новая эффективная технология биологической очистки сточных вод с иммобилизованными микроорганизмами. Установлено, что наиболее эффективным носителем для иммобилизации микроорганизмов является капроновое текстурированное жгутовое волокно «ВИЯ». При его использовании достигнута концентрация иммобилизованной биомассы до 30 г/дм³, что позволяет повысить деструктивную мощность биореакторов, уменьшить их размеры, достичь высокой степени очистки сточной воды.

The technology of biological wastewater treatment of the Antarctic station Akademician Vernadsky

L.A. Sabliy, E.V. Kuzminskiy, V.S. Zhukova, M.V. Blyashina

Abstract. The Antarctic station Akademician Vernadsky is in the area of low temperatures (about 0 °C in summer, winter –18 °C) refers to small objects and wastewater characterized by low flow of domestic wastewater, the uneven nature of their admission to the sewer pipes and uneven quality and quantitative composition of pollutants. A new efficient technology biological treatment of wastewater with immobilized microorganisms. Found that the most effective carrier for immobilization of microorganisms is textured nylon fiber "VIYA". With the use of immobilized biomass concentration reached 30 g /dm³, which allows to increase the destructive power of bioreactors to reduce their size, to achieve a high degree of wastewater treatment.

Key words: biological wastewater treatment, immobilized microorganisms.

1. Вступ

Актуальною проблемою сьогодення є забруднення навколишнього природного середовища в Антарктиці неочищеними господарсько-побутовими стічними водами, які

утворюються на антарктичних станціях в результаті життєдіяльності працівників. Скидання стічних вод у прибережні зони Антарктики спричиняє їх забруднення органічними речовинами, в тому числі азотвмісними, – продуктами метаболізму людини, сполуками фосфору при використанні в побуті миючих засобів. У водоймі за участі морських гідробіонтів відбувається деструкція цих сполук, а відтак виникнення анаеробних процесів, бродіння, гниття, виділення газів, утворення продуктів розкладу високомолекулярних органічних речовин. Внаслідок зазначених процесів у воді створюється дефіцит кисню, що спричиняє зміну складу фіто- і зооценозів планктонних організмів акваторії моря. На дні накопичуються осади, в яких продовжуються анаеробні процеси, – відбувається зміна видового складу бентосних форм гідробіонтів.

Присутність у стічних водах біогенних елементів – сполук азоту й фосфору започатковує процеси цвітіння та евтрофікації водойми, що змінює фізико-хімічні властивості середовища: в евтрофованих водоймах підвищується вміст біогенних і органічних речовин, знижується рівень насиченості води киснем, у придонних шарах з'являються анаеробні зони, зростає каламутність води, забрудненість її мікроорганізмами, які потрапляють туди із стічними водами, в тому числі патогенними. Накопичення надлишкової кількості органічних речовин у донних мулових відкладеннях супроводжується утворенням метану, водню, сірководню, аміаку, які можуть виділятися у вигляді бульбашок, а при розчиненні у воді надають їй неприємного запаху і справляють токсичну дію на риб, безхребетних і рослини, особливо при низьких температурах, що призводить до нестачі кисню й масової загибелі риб.

Для вирішення проблеми очищення стічних вод на станції Академік Вернадський варто задіяти сучасні методи і технології, зокрема, біологічне очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та створенням у спорудах можливостей для організації послідовних анаеробних, аноксидних, анаеробних і аеробних процесів, завдяки чому можна буде видаляти із стічних вод токсичні речовини, створити умови для здійснення нітриденітрифікації, анамокс-процесу та дефосфорації, відтак показники забруднення стічних вод буде доведено до діючих санітарних вимог.

Метою досліджень є адаптація розробленої технології біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів для ефективного їх очищення від забруднюючих речовин, зменшення об'ємів відходів з метою збереження навколишнього середовища Антарктики.

Головне завдання роботи – на основі таких вихідних даних, як склад та концентрація забруднень у стічних водах на вході/виході з очисних споруд, нормативні показники очищених стічних вод, витрата стічних вод та нерівномірність їх відведення, встановити можливість використання іммобілізованих мікроорганізмів у біотехнології очищення стічних вод станції Академік Вернадський.

2. Матеріали і методи

Для аналізу проб води на різних ступенях очищення було використано такі методики: для визначення хімічного споживання кисню (ХСК) – титриметричний метод з біхроматом калію; біохімічного споживання кисню (БСК) – метод визначення розчиненого кисню; азоту загального – титриметричний метод (метод К'ельдаля); азоту амонійного – колориметричний метод з реактивом Неслера; нітритів – колориметричний метод з реактивом Гріса; нітратів – колориметричний метод із саліциловою кислотою.

Вимірювання оптичної густини проведено на фотоелектроколориметрі КФК-2-УХЛ 4.2. Для визначення концентрацій сполук азоту у воді (азоту амонійного, нітритів і нітратів) використовували калібрувальні криві, побудовані на серії стандартних розчинів із заданими концентраціями, для яких було визначено оптичні густини і побудовано графіки. Концентрацію сполук азоту також визначали за допомогою іоніміра ІІ60 МІ з комплектом електродів для вимірювання азоту амонійного, нітритів і нітратів.

Концентрацію розчиненого кисню в стічних водах визначали за допомогою оксиметра HQ30D (HACH-LANGE), аналізатора АНКAT 7645-01.

Показник *pH* визначали за допомогою іономіра І160 МИ, *pH*-метрів мілівольтметрів *pH*-121 і *pH* 673.М та *pH*-метра *pH* 150 МИ.

Концентрацію біомаси, іммобілізованої на носіях, вільноплаваючого та гранульованого активного мулу визначали термогравіметричним методом за сухою і беззольною речовинами.

Склад газу, що утворювався в анаеробних біореакторах, визначали на газовому хроматографі 6890 N (Agilent): детектор – катарометр, температура 200° С, газ-носії – аргон; аналіз легких газів – на колонці MOLSIV довжиною 15 м, аналіз вуглеводнів – на колонці PLOTQ довжиною 15 м.

В анаеробних біореакторах загальна концентрація біомаси мікроорганізмів за сухою речовиною досягала 15–20 г/дм³, в аноксидних – 4–6 г/дм³, в аеробних – 2-3 г/дм³. Зольність біомаси становила в анаеробних біореакторах 0,3, в аноксидному – 0,3, в анаеробному – 0,4, в аеробному – 0,5.

Питому швидкість окиснення органічних речовин визначали в мг ХСК на 1 г беззольної речовини біомаси за годину.

3. Результати досліджень

Дослідження технології очищення стічних вод було проведено в лабораторії кафедри екобіотехнології та біоенергетики НТУУ «КПІ».

В якості стічних вод використовували реальні господарсько-побутові стічні води з наступним складом: концентрація органічних речовин за показником ХСК – 260–290 мг/дм³, завислих речовин – 100–120 мг/дм³, амонійного азоту – 20–28 мг/дм³, фосфатів – 18–28 мг/дм³. Стічні води за складом було наближено до стічних вод станції Академік Вернадський, які також є господарсько-побутовими. Експериментальні дослідження параметрів технології очищення стічних вод проведено на лабораторній установці за розробленою технологічною схемою (рис. 1).

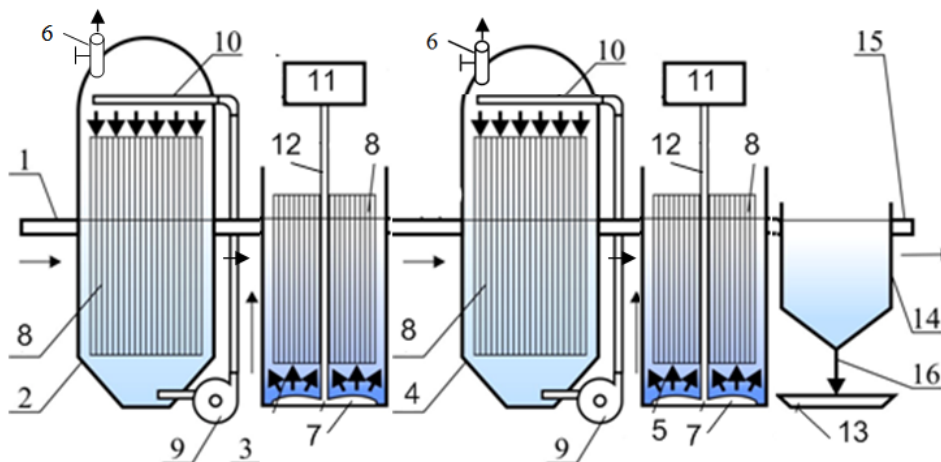


Рис. 1. Технологія очищення стічних вод в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами: 1 – подача стічних вод після решіток; 2 – анаеробний біореактор; 3 – аноксидний біореактор; 4 – анаеробний біореактор; 5 – аеробний біореактор; 6 – газова трубка; 7 – аератори; 8 – волокнистий носій; 9 – циркуляційний насос; 10 – дірчатий трубопровід рециркуляційної води; 11 – повітродувка; 12 – повітропроводи; 13 – мулові майданчики; 14 – вторинний відстійник; 15 – трубопровід відведення очищеної води; 16 – відведення осаду.

Для перемішування рідини використано насоси АТМАН–АТ 103 з системою розподілу стічних вод, яка складалася з рециркуляційної та дірчатої трубок. Через отвори останньої здійснено розбризкування води, зрошування поверхні носія та перемішування реагуючих мас.

Аеробні біореактори обладнано системами подачі повітря для підтримки вільноплаваючого активного мулу в завислому стані і концентрації розчиненого кисню: в аноксидній зоні – 0,1-0,2 мг/дм³, в аеробній – 1,6–2,5 мг/дм³.

Схема руху води в лабораторних біореакторах – прямоточна з перетоком води від одного біореактора до іншого. Для іммобілізації мікроорганізмів у біореакторах влаштовано волокнисті носії типу «ВІЯ», виготовлені з капронової текстурованої нитки 250-500 ТУ 6-06-С116-87.

До експериментальної установки господарсько-побутова стічна вода потрапляла через анаеробний біореактор, звідки вона надходила в аноксидний, потім у анаеробний і аеробний біореактори. У процесах очищення в них стічної води брали участь мікроорганізми, іммобілізовані на носіях.

У біоценозах біореакторів були присутні численні найпростіші, що живляться бактеріями, детритом, завдяки чому кількість біомаси зменшувалась, а вода очищувалась.

Другий анаеробний біореактор потрібен для здійснення денітрифікації, адже після аноксидного у стічній воді є ще амонійний азот, органічні речовини, і є утворені нітрати – всі умови, необхідні для виникнення газоподібного азоту за участі мікроорганізмів-денітрифікаторів.

Стічна вода після анаеробного біореактора очищується за допомогою аеробних бактерій, найпростіших. У біоценозі присутні також коловертки, черви та інші гідробіонти, які живляться бактеріями, найпростішими, детритом, зменшуючи й кількість біомаси, й кількість неживої органіки.

Пусковий період установки тривав близько 45 діб, упродовж яких стічні води знаходилися в експериментальній установці, де відбувалися процеси селекції наявних у господарсько-побутових стічних водах бактерій та нарощення біомаси на носіях. Після пускового періоду було проведено дослідження на спроможність нарощеної біомаси очищати стічні води від забруднень.

Обробку господарсько-побутових стічних вод здійснено у проточному режимі за температури 20±3° С; витрату модельного розчину змінювали в діапазоні 285–7776 см³/добу, гідравлічне навантаження – 0,36–9,9 м³/(м³·добу).

Для нарощування біомаси на початку роботи установки в біореактори вносили інокулят – активний мул з очисних споруд, додавали $NaNO_3$ – 2 г, K_2HPO_4 – 5 г на 4 дм³ розчину.

Концентрація біомаси за сухою речовиною після нарощування в пусковий період становила 3,8–1,5 г на 1 г носія, 30–3,2 г на 1 дм³ об'єму споруди, зменшуючись у міру очищення води (від анаеробного до аеробного біореактора).

Перемішування задля покращення масообміну між стічною водою і поверхнею волокон носія з іммобілізованими на ньому мікроорганізмами здійснювалось в анаеробному біореакторі рециркуляційною водою з розбризкуванням її через отвори в рециркуляційній трубці, встановленій над каркасом з носіями. Таким способом здійснювалось зрошування поверхні волокон, розташованих над рівнем води, аби створити умови для обростання мікроорганізмами й цих поверхонь. Це дозволило збільшити концентрацію біомаси в анаеробних секціях, куди надходила стічна вода з високою концентрацією органічних речовин.

Над поверхнею води в анаеробних біореакторах утворювався об'єм газової фази, через який розбризкувалась вода [1]. Та частина «ВІЙ», що знаходилась у газовій фазі і зрошувалась водою, теж мала іммобілізовані мікроорганізми, які сприяли очищенню води, беручи участь в анаеробному розкладенні органічних сполук, метаногенезі, сульфатредукції, асиміляції вуглекислоти, утворенні метану та в інших процесах, що відбуваються при анаеробній обробці стічних вод.

Кількість біомаси, яка утворювалась на поверхнях «ВІЙ», розташованих над рівнем води в анаеробних біореакторах, становила 4-5 г/дм³.

Для підтримання оптимальних умов масообміну з метою одержання мікроорганізмами прикріпленого біоценозу потрібної кількості органічних речовин зі стічної води, що омиває волокнистий носій, а вільноплаваючого активного мулу – в завислому стані, в аноксидних біореакторах за допомогою мікрокомпресора та аераторів, установлених на конічному дні корпусів, здійснювалась слабка аерація. Кисень для окиснення органічних речовин миттєво споживався мікроорганізмами.

Для подачі повітря до стічної води, створення аеробних умов для окиснення залишку органічних речовин, здійснення нітрифікації та інших аеробних процесів аеробний біореактор було обладнано аератором. Крім того, в цьому біореакторі на відміну від попередніх було здійснено культивування вищих за трофічним рівнем організмів, яким для дихання потрібен кисень.

Мікроорганізми біоплівки у процесі ферментативних реакцій окиснюють органічні речовини, необхідні для їх життєдіяльності. Частину органічних речовин мікроорганізми використовують як матеріал для збільшення своєї маси. Таким чином, під час метаболічних реакцій відбувається перетворення органічних забруднюючих речовин у прості сполуки (вода, неорганічні сполуки і гази), в результаті чого зі стічної води, де проходять процеси нітрифікації, денітрифікації, анаммоксу, ці органічні забруднюючі речовини видаляються.

Біоплівка – високовпорядкована бактеріальна спільнота, яка дозволяє бактеріям існувати в іммобілізованому стані. Продукти гідролізу дифундують у клітину, де під дією ендферментів відбувається їх подальше окиснення з виділенням енергії і більш простих сполук, що використовуються в якості будівельних блоків клітинної речовини. Склад продуктів окиснення залежить від складу субстрату та видового різноманіття бактерій, що утворюють біоплівку; обов'язково присутні вуглекислий газ і вода, в різній кількості можуть бути сульфати, фосфати, азот амонійний та нітратний, а також продукти неповного розкладання – різноманітні органічні кислоти.

Треба зазначити, що в результаті очищення утворюється мала концентрація надлишкової біомаси, яка виноситься з біореакторів зі стічною водою, – 50–70 г/м³. Зольність біомаси в анаеробно-аеробній технології складає близько 38–51%, а містить в основному біогенні неорганічні речовини.

Носій у біореакторі є матеріалом для іммобілізації мікроорганізмів і відіграє важливу роль у створенні сприятливих умов для розвитку біоценозу. При виборі волокнистого матеріалу для іммобілізації перевагу слід надавати синтетичним волокнам завдяки їх високій міцності, термостійкості та стійкості до руйнування мікроорганізмами. Тому й було обрано волокнистий носій «ВІА» – синтетичне текстильне волокно, що виготовляється з капронової текстурованої або поліефірної термофіксованої нитки (лавсан). Параметри носія: щільність – 1,14 г/см³, пористість – 0,52%, гідрофобність – 48%. Встановлено, що питома площа поверхні біоплівки, яка покриває волокнистий носій, досягає 5000 м²/м³ [2].

Одне з основних призначень носія – іммобілізація мікроорганізмів і збільшення концентрації біомаси в споруді. Але просте накопичення біомаси не сприяє підвищенню продуктивності та ефективності роботи біореактора, оскільки процес біологічного окиснення забруднень ефективно протікає лише в тонкому поверхневому шарі біоплівки. Обмін поживними речовинами й газами відбувається тільки через конвекцію і дифузію в шарі мікроорганізмів, що утворює біоплівку. Встановлено, що дифузія ефективна при товщині біоплівки 0,5–1,0 мм. Слід зазначити, що товщина біоплівки у біофільтрах досягає 2–5 мм. При такій товщині біоплівки обмежується надходження в її глибинні шари поживних речовин і кисню, через що за кількістю активна біоплівка являє собою лише невелику частку з усієї наявної біомаси.

У біореакторі було досліджено шляхи утримання біоплівки на волокнах носія за допомогою мікроскопа тринокуляру XSP-139TP з фото-відеовиходом.

В результаті мікроскопічного дослідження біоплівки (рис.2) встановлено, що у аноксидному біореакторі біоценоз складався, в основному, з інфузорій, саркодові були представлені родом *Arcella*. У аеробному біореакторі збільшилася чисельність коловерток, що свідчить про проходження обох ступенів нітрифікації. Наявність малоцетинкових черв'як вказує на високу мінералізацію біомаси та утворення трофічної ланки вищого рівня.

Отже, при використанні розробленої технології забезпечується створення на різних стадіях очищення відповідних біоценозів гідробіонтів.

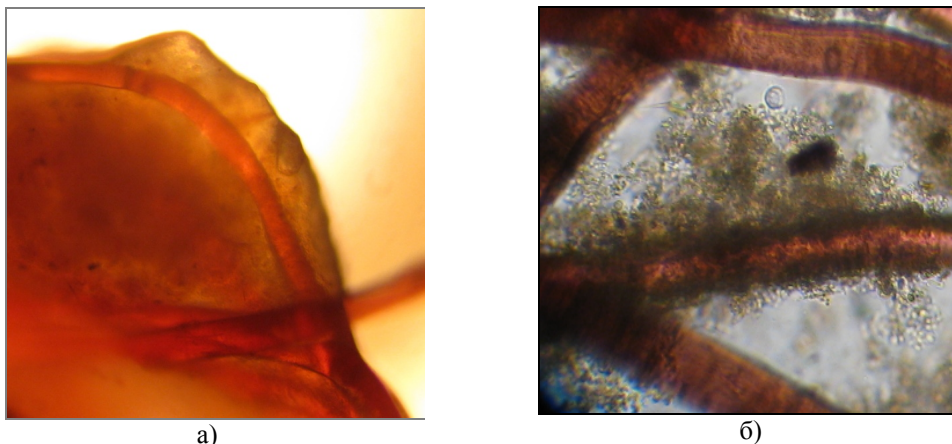


Рис. 2. Мікрофотографії волокна з іммобілізованою біомасою при збільшенні x200 (а) та при збільшенні x100 (б)

Високого рівня ефективності очищення господарсько-побутових стічних вод було досягнуто вже через 1,5 місяці роботи експериментальної установки завдяки високій щільності іммобілізації мікроорганізмів на волокнах «ВІЯ» і створенню біоценозів, пристосованих до конкретних умов середовища і характерних для біореактора даного ступеня, про що свідчать показники очищеної стічної води: БСК_{повн} – до 15 мг/дм³; концентрація амонійного азоту – до 2 мг/дм³; нітратів – до 17 мг/дм³; фосфатів – до 1,5 мг/дм³ (див. таблицю). Питома поверхня носіїв у міру очищення стічної води зменшувалась від 3800–3700 в анаеробних біореакторах до 380 м²/м³ в аеробному. Велика питома поверхня волокон завантаження типу «ВІЯ» забезпечила мікроорганізмам можливість активно іммобілізуватись, збільшуючи концентрацію біомаси в споруді.

Таблиця

Характеристика стічних вод до і після очищення в системі біореакторів

Показник	До очищення	Після очищення
ХСК, мг/дм ³	260–290	80–85
БСК _{повн} , мг/дм ³	200–240	15
Завислі речовини, мг/дм ³	100–120	15–17
Амонійний азот, мг/дм ³	20–28	1,1–2
Фосфати, мг/дм ³	18–28	1,2–1,5
Нітрати, мг/дм ³	-	15–17
рН	7,0–7,2	7,2–7,5

Встановлено, що після нарощування біобіомаси на поверхні носіїв у пусковий період концентрація біомаси за сухою речовиною через 45 діб досягала 30 г на 1 дм³ анаеробного біореактора і зменшувалась у міру очищення води до 3,2 – в аеробному.

Якщо показники якості очищених господарсько-побутових стічних вод у пусковий період відповідають санітарним вимогам, це свідчать про достатню концентрацію іммобілізованих мікроорганізмів у біореакторах на всіх ступенях і забезпечення необхідних умов їх роботи.

4. Висновки

Аналіз роботи очисних споруд за традиційними технологіями, вивчення науково-технічної літератури та патентів показав, що для біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод станції Академік Вернадський варто задіяти таку новітню, ефективну, маловідходну технологію, як прямоточна біоконвеєрна з очищенням стічних вод у системі біореакторів з послідовно створеними анаеробними, аноксидними, анаеробними та аеробними умовами і використанням носіїв іммобілізованих мікроорганізмів, нітриденітрифікації, анамокс-процесу тощо.

Присутність у господарсько-побутових стічних водах як легкоокиснюваної, так і важкоокиснюваної органіки зумовлює використання такої біотехнології, в якій на першому етапі буде анаеробний процес. Це дозволить ефективно очищати стічні води при менших витратах електроенергії і з меншим (у 5–10 разів) приростом біомаси. Анаеробний процес порівняно з аеробним характеризується стійкістю до перерв у подачі стічної води і до залпових скидів органічних речовин. Наступні етапи – це послідовно аноксидний, анаеробний і аеробний процеси, здійснювані в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами, завдяки чому органічні речовини, сполуки азоту, фосфору тощо будуть ефективно видалятися.

Розробка та впровадження експериментальної установки для очищення господарсько-побутових стічних вод станції Академік Вернадський дозволить отримати нові практичні результати. Для цього необхідно визначити асоціацію мікроорганізмів-деструкторів органічних та біогенних речовин з використанням мікроорганізмів Антарктики. Застосування запропонованої технології забезпечить ефективне очищення стічних вод та одержання енергоносіїв, мінімізацію енергетичних витрат, захист природних водних ресурсів Антарктики від надмірного потрапляння в них забруднюючих речовин.

Використані джерела

1. **Патент України** на винахід № 94856, МПК C02F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Кузьмінський Є.В., Саблій Л.А., Жукова В.С.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № а201006126; заявл. 20.05.10 ; опубл. 10.06.11, Бюл. №11.

2. **Бляшина М.В.** Очищення міських стічних вод в анаеробно-аеробних біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами / М.В. Бляшина, Л.А. Саблій, П.І. Гвоздяк // Науковий вісник будівництва 67. – Харків.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2012. – С. 320–328.