

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**Шандрович Віра Тарасівна**

УДК 546.39: 66.067.8.081.3: 579.695

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ШЛЯХОМ  
УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ МІСЬКИХ ОЧИСНИХ СПОРУД**

**21.06.01 Екологічна безпека**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Львів – 2015**

Дисертацією є рукопис  
Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти та науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Мальований Мирослав Степанович,**  
Національний університет «Львівська  
політехніка»  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри екології та збалансованого  
природокористування

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Гомеля Микола Дмитрович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри екології та технології  
рослинних полімерів

кандидат технічних наук, доцент  
**Леськів Галина Зіновіївна**  
Львівський державний університет внутрішніх  
справ  
Міністерства внутрішніх справ України  
доцент кафедри менеджменту

Захист відбудеться 26 лютого 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою:  
79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «30» грудня 2015 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради К 35.052.22. к.т.н., доцент

 В.В. Сабадаш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В результаті розвитку промислових технологій та збільшення ступеня урбанізації збільшується і кількість господарсько-побутових стоків, що в свою чергу підвищує навантаження на міські каналізаційні очисні споруди та на гідросферу в цілому. Основними забруднюючими речовинами, що потрапляють з господарсько-побутовими стоками, є сполуки азоту (азот амонійний, нітрити та нітрати, основним із яких є азот амонійний), фосфати та поверхнево активні речовини (ПАР). Більшості працюючих каналізаційних очисних споруд притаманний ряд недоліків, викликаних використанням в системах очищення застарілих технологій та обладнання. Зокрема, характерними ознаками для більшості станцій очищення муніципальних стоків є низька енергоефективність, низький рівень очищення стоків від амонійного азоту та не вирішені питання утилізації активного мулу.

Основними спорудами, на яких проходить очищення від азотних сполук, є аеротенки. Проте сучасний стан регулювання подачі кисню в аеротенки є енергозатратним та неефективним. Покращити ефективність цього процесу можна за рахунок регулювання необхідного ступеня аерації в залежності від концентрації амонійного азоту, на окиснення якого і витрачається Оксиген аерованого повітря.

Що ж стосується питання утилізації активного мулу, то використання процесу центрифугування відпрацьованого активного мулу призводить до утворення великої кількості висококонцентрованих амонійних стоків, які у випадку подачі їх в існуючу технологію очищення створюють значну екологічну загрозу. Мінімізація цієї екологічної загрози може бути досягнута шляхом застосування для очищення висококонцентрованих амонійних стоків сучасного методу очищення, який носить назву ANAMMOX процес.

Ще одним джерелом екологічної небезпеки є забруднення навколишнього середовища фільтратами звалищ твердих побутових відходів, кількість яких зростає з кожним роком. Знизити ризик від такого забруднення можна шляхом подачі таких фільтратів на міські каналізаційні очисні споруди, розведення їх у певному співвідношенні з господарсько-побутовими стоками та наступного очищення. Проте необхідно встановити безпечну кількість фільтратів звалища, що можуть подаватись на очисні споруди, без порушення нормальних умов життєдіяльності колоній мікроорганізмів активного мулу.

Тому дослідження, спрямовані на пошуки вирішення цих проблем є актуальними і важливими для підвищення екологічної безпеки гідросфери.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету

"Львівська політехніка" і виконувалась згідно з тематикою науково-дослідної роботи кафедри "Природоохоронні технології очищення рідинних середовищ адсорбційними (селективними) методами", № державної реєстрації 0111U003993, а також в межах виконання госпдоговірної теми «Натурне дослідження впливу фільтратів Львівського полігону твердих побутових відходів на процес біологічного очищення на каналізаційних очисних спорудах КОС-П м. Львова», яка виконувалась Національним університетом «Львівська політехніка» за госпдоговором (дисертантка була одним із виконавців цієї НДР).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери шляхом удосконалення роботи міських каналізаційних очисних споруд.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз джерел екологічної небезпеки муніципальних каналізаційних очисних споруд;
- провести моніторинг ефективності роботи міських очисних споруд загалом, та аеротенків, зокрема;
- дослідити можливості удосконалення роботи аеротенків, для зменшення їх енергозатратності;
- побудувати математичну модель процесу аерації для різних вихідних концентрацій амонійного азоту та за різних витрат стічної води;
- провести дослідження можливостей очищення господарсько-побутових стоків від поверхнево активних речовин, шляхом експериментального дослідження їх здатності до біорозкладу;
- дослідити можливість використання ANAMMOX процесу для очищення висококонцентрованих амонійних стоків, що утворюються після стадії зневоднення відпрацьованого активного мулу;
- дослідити можливість очищення фільтратів звалищ твердих побутових відходів на міських каналізаційних очисних споруд.

**Об'єкт дослідження** – очищення міських стічних вод від забруднювачів різної природи.

**Предмет дослідження** – технології очищення стічних вод від амонійного азоту і ПАР та фільтратів звалищ твердих побутових відходів.

**Методи досліджень** включають в себе розроблені методики експериментальних досліджень, хімічні методи визначення концентрацій азотистих сполук, розчиненого кисню, біохімічного та хімічного споживання кисню. Електрохімічні методи: кондуктометричне визначення електропровідності, рН та розчиненого кисню; потенціометричне визначення іонів амонію.

**Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів** Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтовані, а їх

достовірність підтверджена результатами експериментальних досліджень. Адекватність експериментальних досліджень теоретичним моделям підтверджується задовільними статистичними оцінками відхилень експериментальних залежностей від теоретичних. Достовірність результатів підтверджується застосуванням сучасної виміральної техніки та відтворюваністю експериментальних даних. Отримані автором результати корелюються із результатами інших авторів.

**Наукова новизна одержаних результатів** З ціллю підвищення екологічної безпеки гідросфери дисертантом отримані такі найбільш важливі наукові результати:

1. Вперше теоретично та експериментально доведено, що більш енергоефективно регулювати подачу повітря в аеротенки в залежності від зміни концентрації амонійного азоту в стічних водах, що дає можливість запровадити енергозберігаючий ефективний метод очищення стічних вод від амонійних сполук.

2. Вперше побудована математична модель процесу очищення амонійних стоків в аеротенку в залежності від необхідної вихідної концентрації амонійного азоту та за різних постійних концентрацій розчиненого кисню, що надає можливість приймати ефективні рішення з управління екологічною безпекою.

3. Вперше проведено довготривалі експериментальні дослідження можливості очищення висококонцентрованих амонійних стоків, що утворюються після стадії зневоднення відпрацьованого активного мулу ANAMMOX процесом, із використанням як носіїв ANAMMOX – бактерій природного цеоліту, що дозволяє використовувати цеоліти із імобілізованими на них ANAMMOX бактеріями для очищення висококонцентрованих амонійних стоків.

4. Отримали подальший розвиток дослідження біорозкладу різних типів ПАР, які використовуються у побутових мийних засобах, що дозволило рекомендувати попереднє очищення забруднених ПАР стоків у локальних очисних системах.

5. Отримали подальший розвиток дослідження можливості очищення фільтратів звалищ твердих побутових відходів на міських каналізаційних очисних спорудах, в результаті чого рекомендовані безпечні режими подачі фільтратів сміттєзвалищ на каналізаційні очисні системи.

**Практичне значення одержаних результатів.** Аналіз даних експериментальних досліджень дав змогу розробити та запропонувати для впровадження спосіб очищення висококонцентрованих амонійних стоків із використанням ANAMMOX процесу, на який отримано 2 патенти України.

Результати експериментального дослідження очищення від амонійного азоту описані в дисертаційній роботі та виконані за госпдоговором № 0507та темою «Натурне дослідження впливу фільтратів Львівського

полігону твердих побутових відходів на процес біологічного очищення на каналізаційних очисних спорудах КОС-П м. Львова» та передані Львівському комунальному підприємству «Збиранка» для підтвердження можливості скидання попередньо знезаражених фільтратів полігону твердих побутових відходів на міські каналізаційні очисні споруди у співвідношенні 1:500.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертаційної роботи, проведено лабораторні та натурні експериментальні дослідження, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано науково обгрунтовані висновки, підготовлено та отримано два патенти на корисну модель України. Постановка задач, розроблення методик дослідження процесів очищення стоків, обговорення поставлених задач проводились та виконувались під керівництвом д.т.н., проф. Мальованого М.С.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на таких міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: XXI (щорічна) міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів», 21 – 22 листопада 2013 р., м. Харків; Всеукраїнська науково-технічна конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості», 8 – 9 жовтня 2013 р., м. Тернопіль; п'ятий міжнародний екологічний форум «Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета» 2013 р., м. Херсон; IV-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2013), 25 – 27 вересня 2013 р., м. Вінниця; 3-й міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування.» 17 – 19 вересня 2014 р., м. Львів; міжнародна науково-технічна конференція «Новітні науково-технічні рішення в харчовій промисловості» 2 – 3 березня 2015 р., м. Львів.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 14 друкованих наукових праць, в тому числі 1 стаття у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію, 5 статей у фахових виданнях з технічних наук України, 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, 1 доповідь на Всеукраїнській науково-технічній конференції та 2 деклараційних патенти України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 178 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 84 рисунками, текст містить 23 таблиці, у бібліографії наведено 154 літературних джерела, дисертація містить 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, висвітлено наукове та практичне значення отриманих результатів, поставлено мету та визначено напрямки її досягнення, дано загальну характеристику дисертаційної роботи.

**Перший розділ** присвячений аналізу науково-технічної літератури за темою дисертації. Проведена оцінка небезпеки від забруднення господарсько-побутовими стоками та вмісту у них забруднюючих речовин. Оцінена екологічна небезпека від забруднення гідросфери фільтратами звалищ твердих побутових відходів (зокрема, Львівського сміттєзвалища). Проведена оцінка небезпеки від забруднення поверхнево активними речовинами. Зроблений критичний аналіз технологій очищення стічних вод. Проаналізовані сучасні методи та процеси очищення стічних вод, такі як: ANAMMOX, CANON, OLAND та SHARON. Проведений огляд та аналіз технологій очищення фільтратів звалищ твердих побутових відходів.

У **другому розділі** наведені характеристики матеріалів та об'єктів досліджень, методів та методик проведення експериментальних досліджень, описані експериментальні установки. Приведена характеристика активного мулу, цеоліту (клиноптилоліту) та поверхнево-активних речовин, що використовувались в експериментальних дослідженнях. Описана методика та схема експериментальних досліджень ефективності ANAMMOX процесу, щодо вилучення із води азотистих сполук. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень впливу фільтратів Львівського полігону твердих побутових відходів на процес біологічного очищення на каналізаційних очисних спорудах КОС-П м. Львова. Приведений опис експериментальної установки, що використовувалась для дослідження процесу аерації. Описані та адаптовані для дисертаційних досліджень методики аналізу проб на вміст азотистих сполук, розчиненого кисню, ХСК, БСК, рН та електропровідності.

**Третій розділ** присвячений оцінці рівня екологічної небезпеки від неефективної роботи муніципальних очисних споруд. В результаті було виділено такі джерела екологічної небезпеки:

1. Понаднормативне забруднення очищених стоків сполуками азоту.
2. Відсутність стадії очищення муніципальних стоків від сполук фосфору.
3. Залишкове забруднення відхідних очищених стоків ПАРами.
4. Залишкове забруднення відхідних очищених стоків фільтратами сміттєзвалищ.
5. Залишкове забруднення відхідних очищених стоків завислими агломераціями бактерій.
6. Забруднення висококонцентрованими амонійними фільтратами

зневоднення відпрацьованого активного мулу.

Мінімізація екологічної небезпеки від 1, 3, 4 та 6 джерел екологічної небезпеки досліджувалась у дисертаційній роботі.

Проаналізовані дані моніторингу забруднення гідросфери залишковими продуктами неефективного очищення муніципальних стоків по Україні загалом, та Львівщині зокрема. Розроблена стратегія уникнення екологічної небезпеки шляхом удосконалення роботи муніципальних очисних споруд.

**Четвертий розділ** присвячений встановленню оптимальних режимів та ефективного контролю аерації в аеротенках міських очисних споруд. Львівські каналізаційні очисні споруди (КОС) складаються із двох частин, які знаходяться в безпосередній близькості, в північно-східній частині міста. Загальна проектна потужність Львівських КОС дорівнює 490тис.м<sup>3</sup>/добу, а середньодобове очищення стічних вод – 440тис.м<sup>3</sup>/добу.

Таблиця 1

### Концентрація розчиненого кисню в аеротенках КОС2

Суб'єкт вимірювань		Аеротенки											
		№1		№2		№3		№4		№5		№6	
		кодирлор	Вихід	кодирлор	Вихід	кодирлор	Вихід	кодирлор	Вихід	кодирлор	Вихід	кодирлор	Вихід
17.07. 2013 р.	1	0,18	0,25	9,9	6,04	5,69	0,24	8,55	4,01	6,3	0,29	0,32	0,19
	2	0,44	0,41	3,67	2,33	3,4	0,54	2,69	1,73	3,15	2,6	0,11	0,37
	3	-	0,96	-	3,12	-	2,24	-	1,68	-	2,56	-	0,37
02.10. 2014 р.	1	0,32	0,26	0,35	3,64	0,36	4,82	0,99	6,16	0,28	1,69	0,82	0,80
	2	0,46	0,35	0,89	2,16	3,64	2,12	0,61	2,21	0,12	1,23	0,42	0,39

Примітки. 1 - покази сенсора ОС; 2 - покази киснеміра; 3- дані виміряні лабораторією.

Проведений моніторинг ефективності роботи Львівських міських каналізаційних споруд шляхом аналізу даних хіміко-бактеріологічної лабораторії Львівського міського комунального підприємства «Львіводоканал». Також проведені власні вимірювання концентрацій амонійного азоту та розчиненого кисню у аеротенках, для отримання реальних даних та оцінки можливих шляхів удосконалення їх роботи. Отримані результати моніторингу, які наведені в табл. 1 та 2, свідчать про недостатнє очищення аеротенками стічних вод.



Порівняння отриманих на виході після КОС2 концентрацій забруднюючих компонентів із відповідним значенням ГДК не дає підстави стверджувати про повне очищення стічних вод на очисних спорудах та придатність очищених вод для господарсько-побутового та рибогосподарського водопостачання, оскільки за рядом показників (азот амонійний, нітрити та залізо) не досягається необхідний ступінь очищення згідно ГДК для рибогосподарського призначення очищених стічних вод.

Таблиця 2

**Концентрація амонію у стічній воді аеротенків (02.10.2014 р.)**

Номер аеротенка		C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/л
№ 1	П коридор	12,27
	Вихід	15,35
№ 2	П коридор	3,56
	Вихід	0,03
№ 3	П коридор	19,12
	Вихід	6,71
№ 4	П коридор	7,56
	Вихід	10,90
№ 5	П коридор	2,86
	Вихід	14,41
№ 6	П коридор	6,13
	Вихід	9,02

Таким чином в результаті проведених вимірювань та отриманих результатів, можна зробити висновок, що після загального виходу очищена стічна вода має необхідну якість для наступного її господарсько-побутового використання, але не в повній мірі відповідає нормам для води рибогосподарського призначення. Робота аеротенків на КОС2 є недостатньо ефективною і потребує вдосконалення, яке повинно було б полягати у зміні системи подачі кисню в аеротенк в залежності від керуючих сигналів сенсорів. Керуючі сигнали повинні були б формуватись на основі концентрацій іонів амонію, а не концентрацій розчиненого кисню (РК). Проведені експериментальні дослідження процесу аерації в лабораторних умовах, за різних вихідних концентрацій амонійного азоту і РК та різних витрат стічної води і повітря. Отримані результати (рис. 1) ефективних умов аерації для очищення муніципальних стоків від амонійних сполук в статичних умовах показали, що в переважній більшості випадків кінетичні залежності окиснення іонів амонію повітрям за участю мікробіологічної структури активного мулу можуть бути апроксимовані прямолінійними залежностями. Динаміка окиснення іонів амонію визначається рядом факторів, серед яких вирішальними є конструкція аератора.

Навіть за умови значного збільшення витрати повітря, яке поступає на аерацію, у випадку отримання крупнодисперсного розподілу цього повітря в товщі стоків, які очищаються, не вдається отримати достатнього ступеня очищення.

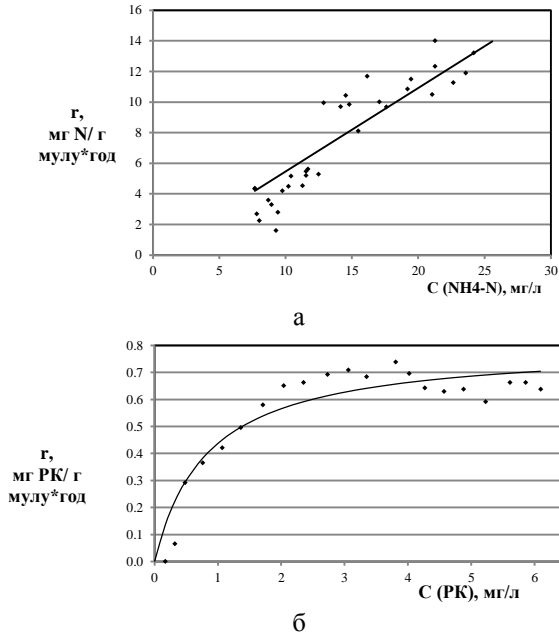


Рис.1. Швидкість процесу очищення стічних вод аерацією відносно концентрації: а) амонійного азоту; б) розчиненого кисню

Залежність швидкості процесу від концентрації розчиненого кисню описується рівнянням Моно:

$$r = r_{max} * \frac{[DO]}{[DO] + k_0} \quad (1),$$

де  $r$  – швидкість росту мікроорганізмів;  $r_{max}$  – максимальна швидкість росту мікроорганізмів;  $[DO]$  – концентрація розчиненого кисню;  $k_0$  – концентрація напівнасичення.

Апроксимація експериментальних даних (рис.1б) рівнянням (1) за принципом максимального значення коефіцієнта детермінації цієї залежності ( $R^2=0,88$ ) методом підбору знайдено значення констант  $r_{max} = 0,8$  мг/л\*год та  $k_0 = 0,83$  мг/л. Експериментальна залежність швидкості процесу від концентрації амонійного азоту (рис.1а) апроксимована лінійною регресією (коефіцієнт детермінації рівний 0,7906). Залежність

швидкості процесу від концентрації амонійного азоту можна представити у вигляді:

$$r = k_N \cdot C(N) \quad (2),$$

де  $k_N$  – коефіцієнт, визначений згідно з експериментами (0,54 л/(г мулу·год));  $C(N)$  – концентрація амонійного азоту.

Отримані залежності швидкості нітрифікації від концентрацій амонійного азоту та розчиненого кисню лягли в основу розроблення математичної моделі процесу окиснення амонію в умовній елементарній комірці промислового аератора для очищення муніципальних стоків. Загальне рівняння процесу має вигляд:

$$\frac{dN}{dt} = Q \cdot \frac{N_{вх} - N}{V} - k_N \cdot C(N) \cdot \frac{[DO]}{K_0 + [DO]} \cdot X \quad (3),$$

де  $N_{вх}$  – концентрація амонійного азоту на вході;  $Q$  – швидкість подачі стічних вод, яка мала змінне значення для кожного із досліджуваних випадків;  $V$  – об'єм реактора;  $X$  – концентрація активного мулу в реакторі.

Для моделювання приймалась залежність концентрації амонійного азоту на вході в реактор, яка є змінною величиною відповідно до коливання концентрації амонійного азоту у міських каналізаційних очисних спорудах впродовж доби, у вигляді, представленому на рис. 2. Моделювання процесу згідно рівняння (3) проводилось методом чисельного диференціювання із використанням програми Excel (для обчислень з ціллю досягнення коректності отриманих результатів був вибраний крок обчислень 0,001 доби). Процес аерації моделювався для трьох різних вихідних концентрацій амонійного азоту за трьох сталих значень концентрації розчиненого кисню (1, 2 та 3 мг/л) та за необхідного вихідного значення амонійного азоту. Узагальнені результати моделювання для випадку високих концентрацій амонійного азоту представлені на рис.3.

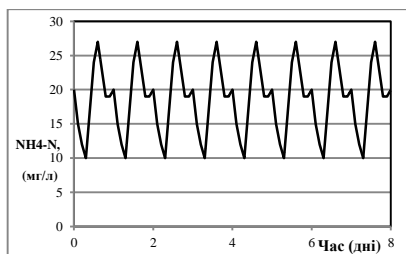


Рис.2. Коливання концентрації амонійного азоту на вході в каналізаційні очисні споруди

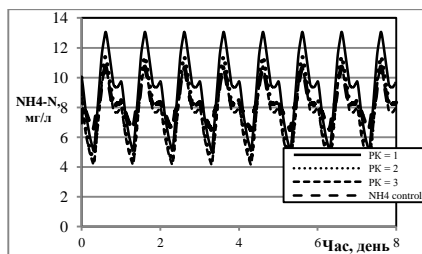


Рис.3. Узагальнені результати моделювання для високих концентрацій амонійного азоту

Результати моделювання свідчать про більшу ефективність та меншу енергозатратність процесу за умови використання як керуючого сигналу

концентрації амонійного азоту, оскільки стоки на очисні споруд поступають із різною концентрацією амонійного азоту в них. Дані моделювання свідчать, що у випадку використання як керуючого сигналу концентрації амонійного азоту в стоках, амплітуда коливань вихідної концентрації амонійного азоту в очищених стоках зменшується в 2-3 рази у порівнянні з використанням постійної концентрації аерованого розчиненого кисню, а витрата повітря на аерацію (відповідно, і енергозатрати) зменшується більше як у 2 рази. Використання концентрації амонію для контролю аерації дозволяє змінювати аерацію в автоматичному режимі та гарантує не тільки достатній рівень очищення, а також стабільну концентрацію азоту у стоках на виході із аератора.

**В п'ятому розділі** проведено дослідження застосування ANAMMOX процесу для очищення висококонцентрованих амонійних стоків, що утворюються після стадії зневоднення відпрацьованого активного мулу. Протягом експерименту вимірювались концентрації  $\text{NH}_4^+$  та нітриту у модельних стоках. Отримані результати представлені на рис.4 та 5.

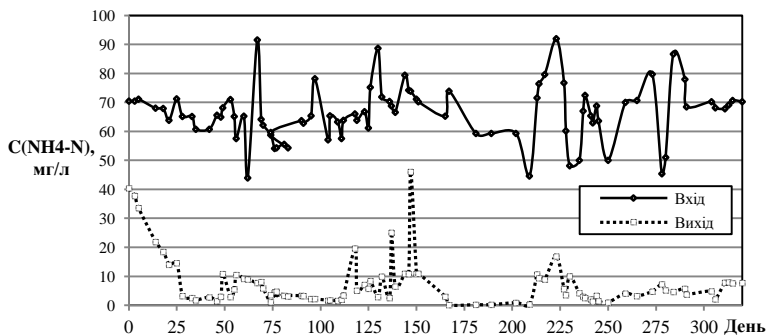


Рис.4. Зміна концентрації амонійного азоту на вході та на виході з експериментальної колони

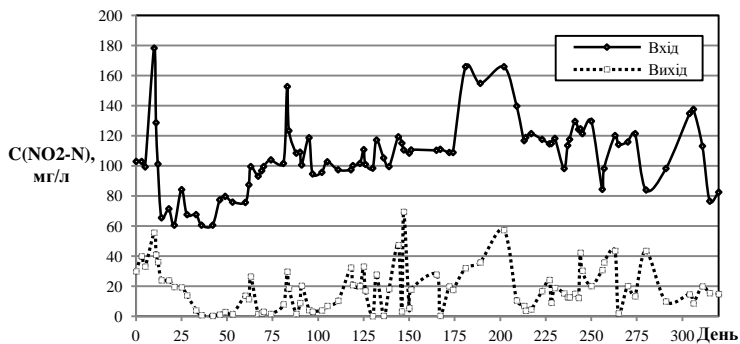


Рис.5. Зміна концентрації нітриту на вході та на виході з експериментальної колони

Спочатку визначались лише концентрації амонію та нітриту. Оскільки кисень в реактор не подавався, то процес нітрифікації не міг значно впливати на трансформацію азотовмісних сполук. Для доведення того, що в колоні реалізується саме процес ANAMMOX та для визначення стехіометрії процесу, було проведено визначення концентрації нітрату впродовж 2 місяців (рис. 6).

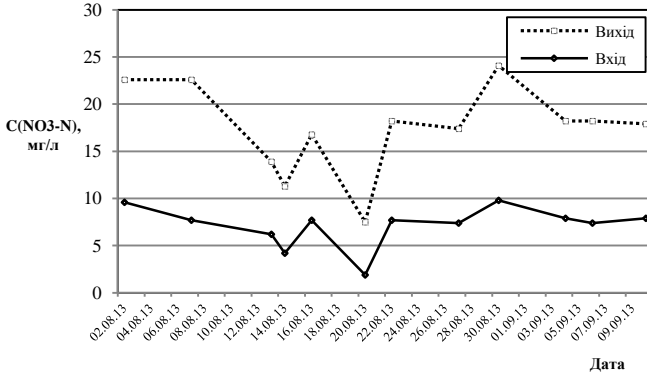


Рис.6. Зміна концентрації нітрату на вході та на виході з експериментальної колони

Виходячи з даних приведених на рис. 6, концентрація нітратів на вході є незначною, а на виході підвищується на значення рівне приблизно 10 % від вилучених амонію та нітриту. Представлені результати свідчать про проходження саме ANAMMOX процесу.

Зменшити енергозатрати на реалізацію очищення можна було б вводячи попередню стадію очищення від органічних сполук шляхом отримання біогазу. Такий спосіб апробований нами і захищений патентом України [Пат. № 93545].

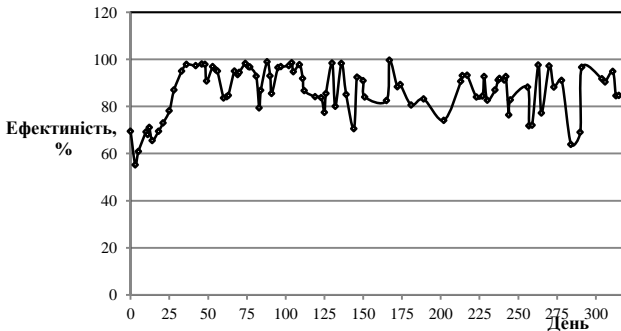


Рис.7. Ефективність ANAMMOX процесу протягом дослідження

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що в ході

досліджуваного процесу амоній окиснюється до газоподібного азоту з використанням нітриту, а продуктами такого очищення є газ ( $N_2$ ) та вода. Це дозволяє стверджувати про те, що дійсно проходить процес ANAMMOX, а не просто нітрифікація (хоча нітрифікація є неможливою і тому, що в процесі відсутнє джерело Оксигену).

Ефективність досліджуваного процесу (рис. 7) протягом дослідження становила більше 80 %, що говорить про можливість застосування цього процесу у промислових масштабах. Досліджуваний процес захищений патентом України [Пат. № 101665].

Дослідження перспектив очищення муніципальних стоків від ПАР полягало у встановленні кінетики їх біорозкладу у водному середовищі та розробленні рекомендацій щодо мінімізації впливу ПАР на довкілля. За результатами експериментальних даних можна зробити висновок, що рівень біорозкладу ПАР, вибраних для досліджень, відповідає вимогам Технічного регламенту мийних засобів, тобто становить більше, ніж 60 % за оксидом вуглецю.

За інтенсивністю біорозкладу всі досліджувані групи (неіоногенні, аніонні та амфотерні) ПАР відповідають нормативним вимогам України щодо рівня (ступеня) їх біорозкладу, проте для очищення стічних вод в реальних умовах очисних споруд цього недостатньо. Тому, на нашу думку, раціональним є встановлення локальних очисних споруд для первинного розкладу ПАР на спорудах, куди потрапляють у стоки ПАР, що містять їх у великих об'ємах (пральні, мийки, заклади громадського харчування).

Дослідження ефективності очищення на муніципальних очисних спорудах фільтратів звалища твердих побутових відходів проходило у два етапи. Перший етап досліджень впливу фільтратів на процес біологічного очищення міських стічних вод проводили у періодичному режимі.

На змонтованій дослідній установці періодичної дії для біологічного очищення міських стічних вод виконано серію з дев'яти дослідів тривалістю 6 год. кожен. В усіх дослідях співвідношення об'ємів фільтрату та суміші стічних вод з активним мулом було різним. На початку та після проведення кожного досліду відбирали пробу суміші фільтрату та стічних вод з активним мулом для визначення відповідно вхідних і вихідних концентрацій забруднювальних речовин (табл. 4).

Дані, наведені в табл. 4, свідчать про те, що лише для кратності розбавлення 1:10 концентрація амонійного азоту на 64,30% перевищує граничні норми на скид у міську каналізацію м. Львова.

Вміст нітратів перевищує граничні норми за кратності розбавлення 1:10 та 1:1000 на 92,7% та 73,9% відповідно. Концентрація нітриту для всіх розбавлень не перевищує граничних норм для скиду на міські каналізаційні очисні споруди.

**Результати хімічного аналізу стоків на вміст азотистих сполук за  
різного розбавлення**

Показник	Азот амонійний, мг/л			Нітрати, мг/л			Нітрити, мг/л		
	Вхід	Вихід	Ефект, %	Вхід	Вихід	Ефект, %	Вхід	Вихід	Ефект, %
Кратність розбавлення									
Без фільтрату	19,55	5,36	53	11,1	40,65	-68	0,065	0,1	41
1:10	84,11	62	26	613,8	703	-15	0,171	0,92	-437
1:500	21	1,55	92,6	21,3	278	1205	0,11	0,16	-38,4
1:1000	8,83	18,1	-105	173	13,80	92	0,03	0,07	-152
1:1000	13,6	0,89	93	7,51	77,6	-933	0,2	1,03	-421
1:1250	17	1,17	93,1	0	3,76	-	0,08	0,06	26,6
1:1250	16,78	36,76	-119	2,5	12,51	-400	0,022	0,037	-68
1:1500	15,1	1,73	89	0	21,6	-	0,03	0,13	-393
Фільтрат	690,4			6025,3			0,764		

Примітка. ' – повторення досліду для даного співвідношення.

Значення величини ефекту очищення для амонійного азоту ( $E_{NH_4^+}$ ) визначались за формулою (4):

$$E_{NH_4^+} = \frac{C(NH_4^+)_{\text{вх}} - C(NH_4^+)_{\text{вих}}}{C(NH_4^+)_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Результати досліджень свідчать, що для кратностей розбавлення 1:500 та 1:1500 ефект очищення за амонійним азотом становить відповідно 92,6% та 93%. Це майже рівне ефекту очищення стічних вод без додавання фільтрату за подібних умов експерименту (95%). На підставі аналізу експериментальних результатів на установці періодичної дії

прийнято рішення щодо методики та режиму досліджень на установці неперервної дії – другого етапу дослідження.

На експериментальній установці біологічного очищення неперервної дії виконано дослідження процесу біологічного очищення суміші стічних вод після первинних відстійників Львівських КОС-II з фільтратами Львівського полігону твердих побутових відходів. Дослідження проводились щодоби протягом 8 годин, співвідношення суміші фільтратів та стічних вод складало 1:500. Отримані результати приведені в таблиці 5. Згідно з отриманими та приведеними в табл. 5 даними можна говорити про достатньо високу ступінь очищення суміші фільтратів звалища твердих побутових відходів та стічних вод від усіх азотистих сполук.

В загальному аналізуючи усі отримані в результаті довготривалих експериментальних досліджень дані можна зробити висновок про можливість очищення фільтратів звалищ твердих побутових відходів на муніципальних каналізаційних очисних споруд, після змішування їх із господарсько-побутовими стоками, що поступають на них.

Таблиця 5

**Значення концентрацій азотистих сполук до та після очищення на установці неперервної дії**

№	Показник		Азот амонійний, мг/л	Нітрити, мг/л	Нітрати, мг/л
	Дата і місце відбору				
1	20.05.2015 р.	Вхід	24,43	0,05	22,52
		Вихід	1,32	1,40	26,27
2	21.05.2015 р.	Вхід	25,16	0,02	11,26
		Вихід	1,0	2,33	21,27
3	22.05.2015 р.	Вхід	21,25	0,10	16,26
		Вихід	0,77	0,42	48,79
4	24.05.2015 р.	Вхід	22,75	0,11	45,03
		Вихід	0,77	3,50	13,76
5	25.05.2015 р.	Вхід	22,38	0,09	7,51
		Вихід	0,44	2,56	45,03
6	26.05.2015 р.	Вхід	15,60	0,09	51,28
		Вихід	1,31	0,64	17,52

Найкращим співвідношенням між фільтратами і стоками є 1:500. За такого співвідношення висококонцентровані фільтрати звалища не чинять негативного впливу на діяльність мікроорганізмів активного мулу.

Результати досліджень ефективності очищення на муніципальних очисних спорудах фільтратів сміттєзвалища, які виконувались згідно із господарським договором № 0507 між Національним університетом «Львівська політехніка» та Львівським комунальним підприємством «Збиранка», передані Львівському комунальному підприємству «Збиранка» для практичного впровадження.



## ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи розв'язано актуальне науково-практичне завдання підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери шляхом удосконалення роботи міських очисних споруд. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведений аналіз джерел екологічної небезпеки муніципальних каналізаційних очисних споруд, виділені джерела екологічної небезпеки, мінімізація впливу яких на гідросферу (що було предметом досліджень у дисертації) дозволить підвищити рівень екологічної безпеки: понаднормативне забруднення очищених стоків сполуками азоту; залишкове забруднення відхідних очищених стоків ПАР; залишкове забруднення відхідних очищених стоків фільтратами сміттєзвалищ; забруднення висококонцентрованими амонійними фільтратами зневоднення відпрацьованого активного мулу.

2. Проведений моніторинг ефективності роботи міських очисних споруд загалом та аеротенків зокрема, на основі аналізу результатів цього моніторингу розроблена та запропонована до впровадження стратегія уникнення екологічної небезпеки шляхом удосконалення роботи муніципальних очисних споруд.

3. Досліджена можливість удосконалення роботи аеротенків, для зменшення їх енергозатратності шляхом запровадження регулювання необхідного ступеня аерації в залежності від концентрації амонійного азоту в стоках, які очищаються.

4. Побудована математична модель процесу аерації для різних вихідних концентрацій амонійного азоту та за різних витрат стічної води, аналіз якої підтверджує, що використання концентрації амонію для контролю аерації дозволяє змінювати аерацію в автоматичному режимі та гарантує не тільки достатній рівень очищення, а також стабільну концентрацію азоту у стоках на виході із аератора.

5. Дослідження біорозкладу ПАР, які застосовуються в побутових мийних засобах, показав, що очищення від них стоків у муніципальних очисних спорудах не дозволяє досягти необхідного ступеня очищення. Найбільш доцільно для очищення забруднених ПАР стоків використовувати локальні очисні споруди із використанням таких відомих методів, як озонування або деструктивна руйнація.

6. Дослідження очищення висококонцентрованих амонійних стоків із застосуванням бактерій ANAMMOX, іmobilізованих на природному цеоліті, підтвердили високу ефективність та перспективність методу, його незначну вартість реалізації і можливість забезпечення необхідного ступеня очищення.

7. Експериментальними та напівпромисловими дослідженнями доведена перспективність очищення на міських каналізаційних очисних спорудах фільтратів сміттєзвалища за умови розведення їх з міськими

стоками перед подачею на очищення у співвідношенні 1:500. Результати досліджень передані у Комунальне підприємство «Збиранка» для використання на практиці.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації:**

#### **Статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напруму, з якого підготовлено дисертацію**

1. Шандрович В. Повышение уровня экологической безопасности путем улучшения работы канализационных очистных сооружений (на примере г. Львова) / Вера Шандрович, Мирослав Мальованый // Устойчивое развитие. Международный журнал, Болгария, 2015. – № 3(24). – С. 71 – 77. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень, узагальнення результатів та аналіз роботи міських очисних споруд.*

#### **Статті у фахових виданнях з технічних наук**

2. Шандрович В.Т. Застосування ANAMMOX-процесу для очищення стічних вод від сполук азоту / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, А.М. Мальований // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Хімія, технологія речовин та їх застосування, Львів. – 2014. – №787. – С. 352-357. *Особистий внесок – проведення лабораторних досліджень можливості використання ANAMMOX процесу для очищення стоків від азотистих сполук.*

3. Шандрович В.Т. Ефективність процесу ANAMMOX для очищення стічних вод від азотовмісних сполук / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, А.М. Мальований // Науковий журнал «Екологічна безпека»: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ. – 2014. – Випуск 2 (18). – С. 114-118. *Особистий внесок – проведення довготривалих експериментальних досліджень ефективності ANAMMOX процесу.*

4. Шандрович В.Т. ANAMMOX процес – сучасний та дієвий метод очищення амонійних стоків цукрової промисловості від сполук азоту / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, А.М. Мальований, К.І. Петрушка // Науково-практичний галузевий журнал «Цукор України». – 2015. – №2 (110). – С. 5-18. *Особистий внесок – аналіз та дослідження можливості очищення амонійних стоків цукрової промисловості ANAMMOX процесом.*

5. Шандрович В.Т. Моніторинг ефективності роботи аеротенків на Львівських очисних спорудах / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, І.П. Полюжин // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 1, част. 1 (90). – С. 126-132. *Особистий внесок – проведення вимірювань концентрацій розчиненого кисню та амонійного азоту в аеротенках на діючій очисній станції м. Львова та аналіз отриманих даних.*

6. Шандрович В.Т. Проблема негативного впливу на гідросферу поверхнево-активних речовин та синтетичних мийних засобів / Мальований М.С., Дєдик Л.М., Мараховська С.Б., Шандрович В.Т. та ін. // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: [збірник науково-технічних праць] – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2015. – № 25.2. – С. 96-103. *Особистий внесок – аналіз екологічної небезпеки від забруднення гідросфери поверхнево активними речовинами.*

#### **Патенти**

7. Пат. № 93545 на корисну модель України МПК С02F 3/00, С02F 3/34 (2006.01), С02F 9/00). Спосіб очищення стічних вод / Мальований М.С., Корбут М.Б., Гуглич С.І., Мальований А.М., Шандрович В.Т.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u201403474; заявл. 04.04.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. №19, 2014 р. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень ANAMMOX процесу.*

8. Пат. № 101665 на корисну модель України МПК С02F 3/00, С02F 3/34 (2006.01), С02F 101/16 (2006.01). Спосіб очищення стічних вод від амонійного азоту / Мальований М.С., Шандрович В.Т., Мальований А.М.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u201502931; заявл. 30.03.2015; опубл. 25.09.2015, Бюл. №18, 2015 р. *Особистий внесок – аналіз існуючих патентів з використанням ANAMMOX процесу та доведення переваги використання, як носія для ANAMMOX бактерій природного цеоліту.*

#### **Матеріали конференцій**

9. Шандрович В.Т. Застосування процесу Апаттох для очищення стічної води / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований // Матеріали XXI (щорічної) міжнародної науково-технічної конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів». – Харків. – 21-22 листопада 2013. – 113 с. *Особистий внесок – аналіз небезпеки від забруднення вод амонійним азотом та дослідження процесу Апаттох.*

10. Шандрович В.Т. ANAMMOX-процес – ефективний метод очищення стічної води від амонійного азоту / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, А.М. Мальований // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ. – 8-9 жовтня 2013. – 186 с. *Особистий внесок – проведення лабораторних визначень концентрації амонійного азоту, рН та температури та аналіз отриманих даних.*

11. Шандрович В.Т. Очищення води від азотовмісних сполук з використанням процесу ANAMMOX / В.Т. Шандрович, М.С. Мальований, А.М. Мальований // П'ятий Міжнародний Екологічний Форум «Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета». – Херсон. – 2013.– С.

166-170. *Особистий внесок – аналіз існуючих та експериментальне дослідження сучасного (Апаттох процесу) методів очищення стоків від азотистих сполук (азоту амонійного та нітриту).*

12. Шандрович В.Т. Очищення стічної води з використанням процесу ANAMMOX / М.С. Мальований, В.Т. Шандрович, А.М. Мальований//IV-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2013). Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня ДІЛО. – 25-27 вересня 2013. – 525 с. *Особистий внесок – аналіз екологічної небезпеки від забруднення гідросфери сполуками азоту та експериментальні дослідження ANAMMOX процесу.*

13. Шандрович В.Т. Очищення стічної води від сполук азоту за допомогою ANAMMOX-процесу / М.С. Мальований, А.М. Мальований, В.Т. Шандрович // 3-й міжнародний конгрес. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів. – Львів: ТЗОВ «ЗУКЦ». – 17-19 вересня 2014. – 117 с. *Особистий внесок – проведення експериментальних аналізів модельної стічної води до та після очищення ANAMMOX процесом на вміст сполук азоту.*

14. Шандрович В.Т. Очищення амонійних стоків цукрової промисловості від сполук азоту із використанням ANAMMOX процесу / Шандрович В.Т., Мальований М.С., Мальований А.М., Петрушка К.І. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Новітні науково-технічні рішення в харчовій промисловості». – Львів: Видавництво «СПОЛОМ». – 2-3 березня 2015. – С. 260-265. *Особистий внесок – аналіз можливості використання ANAMMOX процесу для очищення стоків цукрової промисловості та проведення експериментальних досліджень.*

## АНОТАЦІЯ

**Шандрович Віра Тарасівна.** Підвищення рівня екологічної безпеки шляхом удосконалення роботи міських очисних споруд. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки міських каналізаційних очисних споруд. Проведений аналіз джерел екологічної небезпеки міських очисних споруд та перспективних шляхів мінімізації їх негативного впливу на довкілля. Досліджена в лабораторних умовах ефективність процесу аерації за різних початкових концентрацій амонійного азоту та розчиненого кисню. На основі отриманих даних побудована математична модель процесу для різних витрат стічної води, за різних концентрацій амонійного азоту та розчиненого кисню. Проведено довготривалі (320 діб) експериментальні

дослідження ANAMMOX процесу для встановлення можливості впровадження його на міських каналізаційних очисних спорудах для очищення висококонцентрованих амонійних стоків, що утворюються після стадії зневоднення відпрацьованого активного мулу. Проведена оцінка небезпеки від поверхнево-активних речовин та визначене їх здатність до біорозкладу. Досліджена можливість очищення фільтратів звалища твердих побутових відходів м. Львова, на міських каналізаційних очисних спорудах шляхом змішування з господарсько-побутовими стоками, що поступають на них та наступного очищення.

**Ключові слова:** екологічна безпека, міські каналізаційні очисні споруди, азотисті сполуки, господарсько-побутові стоки, аерація, ANAMMOX-процес.

### **АННОТАЦИЯ**

**Шандрович Вера Тарасовна.** Повышение уровня экологической безопасности путем усовершенствования работы городских очистных сооружений. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - Экологическая безопасность. - Национальный университет "Львівська політехніка". Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности городских канализационных очистных сооружений. Проведен анализ источников экологической опасности городских очистных сооружений и перспективных путей минимизации их негативного влияния на окружающую среду. Проведен мониторинг эффективности работы городских канализационных очистных сооружений в целом, и аэротенков в частности, путем измерения концентраций аммонийного азота и растворенного кислорода в них.

Исследована в лабораторных условиях эффективность процесса аэрации при различных начальных концентрациях аммонийного азота и растворенного кислорода. На основе полученных данных построена математическая модель процесса при различных расходах сточной воды, различных концентрациях аммонийного азота и растворенного кислорода. Результаты моделирования указывают на лучшую эффективность и меньшую энергозатратность процесса при использовании в качестве управляющего сигнала для подачи воздуха в аэротенки концентрации аммонийного азота в сточных водах.

Проведенные долгосрочные (320 суток) экспериментальные исследования ANAMMOX процесса, для возможности внедрения его на городских канализационных очистных сооружениях для очистки высококонцентрированных аммонийных стоков, образующихся после стадии обезвоживания отработанного активного ила. В колонне ANAMMOX бактерии иммобилизовались на природном носителе цеолите

(клиноптилолите). Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о высокой эффективности (в большинстве случаев > 80%) ANAMMOX процесса для очистки хозяйственно-бытовых стоков от азотистых соединений в целом, и аммонийного азота в частности. Полученные данные указывают на возможность применения исследованного процесса в промышленных масштабах.

Проведенная оценка опасности от поверхностно-активных веществ и определена способность к биоразложению наиболее распространенных из них. После исследования сделан вывод о целесообразности установления локальных очистных сооружений для первичного разложения поверхностно-активных веществ на сооружениях, куда они попадают в канализацию в больших объемах, с использованием таких известных методов, как озонирование или деструктивное разрушение.

Исследована возможность очистки фильтрата свалки твердых бытовых отходов г. Львова на городских канализационных очистных сооружениях. Исследования влияния фильтрата свалки на процесс биологической очистки городских сточных вод проводили в два этапа. Первый этап проводили в периодическом режиме. Результаты исследований в периодическом режиме свидетельствуют, что для кратности разбавления 1: 500 эффект очистки по аммонийному азоту составляет 92,6%. Это почти равно эффекту очистки сточных вод без добавления фильтрата. Второй этап исследования влияния фильтрата свалки на процесс биологической очистки стоков проводили в непрерывном режиме при соотношении между фильтратами и стоками 1:500. При таком соотношении после смешивания потоков высококонцентрированные фильтраты свалки не оказывают негативного влияния на деятельность микроорганизмов активного ила.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, городские канализационные очистные сооружения, азотистые соединения, хозяйственно-бытовые стоки, аэрация, ANAMMOX-процесс.

### ABSTRACT

**Shandrovykh Vira Tarasivna.** Raising environmental safety through improvement of municipal wastewater treatment plants. – On the right of the manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 - Ecological safety. - Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

The thesis is devoted to improving the environmental safety of urban sewage treatment plants. The analysis of the sources of environmental hazards municipal wastewater treatment plants and promising ways to minimize their environmental impact. Studies in laboratory efficiency of aeration at different initial concentrations of ammonia nitrogen and dissolved oxygen. Based on the

data built the mathematical model of the process at various costs of waste water for various concentrations of ammonia nitrogen and dissolved oxygen. A long-term (320 days) experimental studies ANAMMOX process, to be able to implement it in urban wastewater treatment plants for treating highly concentrated ammonium wastewater generated after the stage of dehydration of waste sludge. The evaluation of the danger of surfactants and definite ability to biodegradable, the most popular of them. The possibility of cleaning filtrates solid waste landfills in Lviv on urban wastewater treatment plants by mixing and subsequent purification of household waste arriving at them.

**Keywords:** ecological safety, urban sewage treatment plants, nitrogen compounds, household and domestic waste water, aeration, ANAMMOX-process.