

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра інженерної екології**

**УДК 574, 628, 663,667.014**

**ЛИТВИНЕНКО ВАЛЕРІЯ АНАТОЛІЇВНА**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ  
СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**Спеціальність 101 «Екологія»**

**Автореферат  
магістерської дисертації  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»**

**Київ – 2018**

**Магістерська дисертація освітнього ступеня «магістр»:**

Робота виконана на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Ремез Наталя Сергіївна**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря  
Сікорського» професор кафедри інженерної екології

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор  
**Зуєвська Наталія Валеріївна**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря  
Сікорського» професор кафедри геобудівництва та  
гірничих технологій

Захист відбудеться «18» грудня 2018 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні ДЕК кафедри інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 201-22.

З дисертацією можна ознайомитися на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 203-22.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** В останні роки загострився інтерес світового екологічного, енергетичного та ділового співтовариства до проблем пов'язаних з водними ресурсами. Однією з найперших проблем є вирішення ряду питань, щодо очищення води та її повторного використання в господарстві. На даний час розроблено безліч методів для очищення води як від легких забруднювачів, так і від специфічних, таких як хімічні сполуки, які розчиняються у воді. Особливу увагу слід звернути на очищення води, яка використовувалась хімічними підприємствами. Тому актуальною проблемою є саме очищення стічних вод хімічних підприємств. Застосування мікробіологічної установки забезпечить покращення екологічної ситуації району де скидається вода.

**Метою дослідження** є удосконалення установки мікробіологічного очищення стічної води від різних типів хімічних забруднень за рахунок впровадження двостадійної технології на пересувній установці.

**Об'єктом дослідження** є процес очищення стічних вод хімічних підприємств, які містять гексаметилендіамін.

**Предметом дослідження** є показники процесу очищення стічних вод, що характеризуються технологічною і екологічною ефективністю впровадженої технології.

### **Задачі дослідження:**

- провести аналіз існуючих публікацій щодо методів та засобів мікробіологічного очищення стічних вод хімічних підприємств;
- провести аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки мікробіологічного очищення стічних вод;
- дослідити залежність життєдіяльності бактерій *Bacillus subtilis* від температури стічних вод і концентрації гексаметилендіаміна в стічних водах;
- розробити технологічну схему двостадійної роботи установки зі змінними фільтрами; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу.

**Методи дослідження:** системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

**Наукова цінність** полягає в встановленні залежності життєдіяльності та ефективності роботи мікроорганізмів в залежності від температури стоків та концентрації забруднювачів.

**Практична значимість** полягає в розробленій технологічній схемі двостадійної роботи установки зі змінними фільтрами на пересувній установці.

Проведений аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки; проаналізовано ефективність роботи установки; запропоновано технологічну схему роботи установки зі змінними фільтрами; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу; встановлено

залежність життєдіяльності мікроорганізмів від температури стоків та концентрації забруднювачів.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при виборі методу очистки стічних вод підприємств хімічних підприємств які містять гексаметилендіамін та інші забруднювачі.

**Структура і об'єм роботи.** Дисертаційна робота викладена на 92 сторінках складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 68 найменувань, містить 28 рисунків, 18 таблиць, 5 формул.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми магістерської дисертації і необхідність проведення досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень, предмет і об'єкт дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведений аналіз наукових та практичних досліджень щодо очищення стічних вод хімічних підприємств які містять гексаметилендіамін

З літературних джерел встановлено, що перспективною схемою для біологічного очищення стічних вод від біогенних елементів є "східчаста аерація". При реалізації цієї схеми стічна рідина подається в два чи більш реактори, кожний з яких має зону перемішування і зону аерації. Поворотний мул і частина стічної рідини подаються в зону перемішування першого реактора. Далі суміш мулу і стічної рідини надходить у зону аерації першого реактора. У зону перемішування другого реактора подається мулова суміш із зони аерації першого реактора і друга частина стічної рідини. З цієї зони мулова суміш подається в зону аерації другого ректора. У залежності від сталого режиму зони перемішування можуть бути без кисневими (відсутність розчиненого кисню) чи анаеробними (відсутність розчиненого кисню й інших його джерел). Від ефективності підтримки режиму перемішування залежить ефективність видалення азоту і фосфору. Ця система є особливо привабливою при реконструкції існуючих коридорних аеротенків, що встановлені на більшості станцій. Реконструкцію можна робити поступово, по одному аеротенку, без відключення всіх споруджень.

Розглянуті основні джерела та шляхи забруднення водних басейнів сполуками фосфору, негативні наслідки антропогенного впливу цих речовин на якість води поверхневих водойм, методи вилучення фосфоровмісних домішок із води

Розглянуто 3 найбільш ефективних способи, які використовуються в Україні та в світі: високотемпературне спалювання рідких відходів, що містять ГМД, у циклонних топках; застосування аеробно-анаеробних біореакторів і найбільш ефективний метод – застосування мікробіологічного очищення.

Дослідженням по визначенню найефективнішого методу очищення стічної води хімічних підприємств присвячені роботи Садовського М. А., Гвоздяк П. І. Саблія Л. А., Шаповалова В. М., Бляшина М. В., Романова В. В., Лучко І. А., Журба М. Г., Даценко І. Н, Туручко І. І., Косьміна І. В. та інші. Більшість робіт присвячено дослідженням очищенню стічних вод хімічних підприємств, які містять гексаметилендіамін за допомогою мікроорганізмів.

З проведених досліджень слідує, що процес очищення стічних вод на кожному етапі залежить від біоценозу мікроорганізмів, які пристосовані до існуючих умов. Поява нових токсичних речовин, так званих «залпові скиди», можуть привести до знищення активного мулу аеротенку.

На основі аналізу сучасних досягнень науки та теоретичних узагальнень було сформульовано вищевказані мету і задачі досліджень.

**Другий розділ** присвячений сучасним методам очищення стічних від гексаметилендіаміну.

Для знешкодження стічної води можливе застосування спеціальної установки - станції спалювання води. Рідкі відходи спалюються в циклонних печах при температурі  $1000^{\circ}\text{C}$ , при цьому утворюються оксиди азоту і вуглецю.

Досить ефективною є дослідно-промислова установка вогневого знешкодження рідких токсичних відходів (ДПУ) з системою газоочищення. Установка здатна переробляти 5,1 тис.  $\text{м}^3$  відходів на рік, у вигляді масляної емульсії, водного розчину капролактаму та його олігомерів [17]. У якості основного палива приймають природний газ, а резервного – мазут. Метод виробництва – спалювання води з вмістом ГМД.

Виявлено, що метод не є ефективним і після нього відбувається забруднення повітряного середовища (табл. 1).

Таблиця 1 – Відсотковий склад продуктів згорання після процесу спалювання

| Хімічна речовина | Відсотковий склад в повітрі |
|------------------|-----------------------------|
| Оксид карбону    | 0,01 – 0,3%                 |
| Діоксид карбону  | 9,1 – 11,5%;                |
| Кисень           | 2,0 – 4,0%;                 |
| Діоксид азоту    | 0,01 – 0,05%                |

Також розглянуто більш ефективний метод аеробно-анаеробного очищення. В основі процесу анаеробної очистки лежить біохімічне перетворення в безкисневих умовах органічних речовин забруднень стічної води в біогаз (суміш 70% метану і 30% вуглекислого газу). Від 1 кг ГПК вилучених забруднень утворюється близько 0,5 кубометрів біогазу, який є високоякісним паливом з калорійністю 5500- 7000 ккал /  $\text{м}^3$ , що дуже важливо для України, яка не має в достатній кількості енергоносіїв.

Продуктивність сучасних конструкцій анаеробних біореакторів досягає 115-30 кг ХСК /  $\text{м}^3$ доба, що в 10-15 разів вище продуктивності аеротенків. Це забезпечується підтримкою в анаеробних біореакторах великих доз (20-60 г / л) високоактивного анаеробного мулу, який утворює стійкі щільні флокули (гранули) діаметром 1-5 мм.

Застосування біоконвеєра дозволяє ефективно очищувати стічну воду, але в процесі очищення утворюється надлишкова біомаса мікроорганізмів не може бути повністю вилучена з вторинного відстійника через дуже малі розміри.

**У третьому розділі** встановлені математичні залежності життєдіяльності мікроорганізмів *Bacillus subtilis* від температури стоків, рН, та концентрації забруднювачів.

За допомогою пакету Microsoft Excel були отримані аналітичні залежності впливу температури стічних вод на життєдіяльність спорових бактерій.

Отримані аналітичні залежності, в вигляді поліномальної функції  $y = -0,0731x^2 + 1,0193x - 0,131$ . Завдяки проведеним розрахункам та такому аналізу видно, спостерігається, що найбільш ефективно очищення проходить при температурах 30-33 °С, при нижчих і вищих температурах спостерігається зниження ефективності процесу очищення. Залежність життєдіяльності мікроорганізмів від температури стоків показано на рис 1.

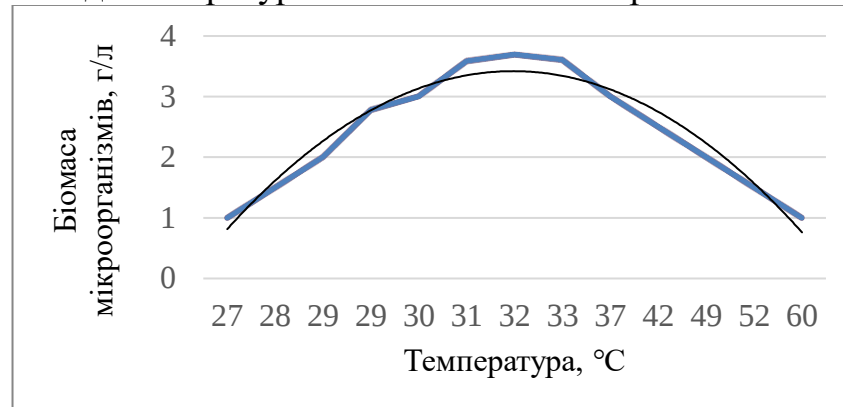


Рисунок 1 – Залежність біомаси мікроорганізмів від температури, рН, концентрації ГМД

Важливим питанням, що виникає при застосуванні мікробіологічного методу, як і біологічного, є надлишкова біомаса мікроорганізмів, яка утворюється та вимивається з біореакторів і не може повністю осідати у вторинному відстійнику через дуже малі розміри мікроорганізмів. Це питання може бути вирішене застосуванням біоконвеєра.

Приклад практичного розрахунку для конкретних умов роботи виробництва ПАТ «Чернігівське Хімволонко» в магістерській дисертації наведено для таких умов та вихідних даних :

- 1) кількість води, що накопичилась в ставку – 1600 м<sup>3</sup>;
- 2) вміст гексаметилендіаміну у воді – 2,54 г/л;
- 3) щороку в ставок скидається 120 м<sup>3</sup> води з ГМД.

Визначаємо витрату біологічного матеріалу в частках від розрахункового припливу стічних вод :

$$R_i = \frac{a_i}{\left(\frac{1000}{J_i} - a_i\right)} ; \quad (1)$$

де  $a_i$  – доза біологічного матеріалу в аеротенку, 3 г/л;

$J_i$  – індекс біомаси, 90 см<sup>3</sup>/г.

Тоді з врахуванням цих значень формула (1) набуває вигляду

$$R_i = \frac{a_i}{\left(\frac{1000}{J_i} - a_i\right)} = \frac{3}{\left(\frac{1000}{90} - 3\right)} = 3,69 , \text{ г/м}^3. \quad (2)$$

Визначаємо тривалість перебування стічних вод у нейтралізаторі:

$$T = (1 + R_i) * t_a + R_i ; \quad (3)$$

де  $t_a$  - тривалість дії ортофосфатної кислоти в нейтралзаторі,  $t_a = 2$  год.  
Підставивши конкретні значення величин, що входять в (3), отримаємо

$$T = (1 + R_i) * t_a + R_i = (1 + 0.369) * 2 + 0.369 = 3 \text{ год } 7 \text{ хв.} \quad (4)$$

Визначаємо тривалість проходження води через біореактор враховуючи очищення через анідні фільтри:

$$T_b = \frac{S}{R_i * a_i} + (1 + R_i) * k; \quad (5)$$

де  $k$  - коефіцієнт очищення анідних фільтрів, який враховує час проходження через них,  $k=0,56$ ;

$S$  - площа біореактора,  $S = 25 \text{ м}^3$ .

Підставивши знайдені величини, отримаємо

$$T_b = \frac{25}{0,369 * 3 * 24} + (1 + 0,369) * 0,56 = 1 \text{ год } 42 \text{ хв.} \quad (6)$$

Загальний час проходження через три біореактори складає:

$$3 * 1 \text{ год } 42 \text{ хв} = 5 \text{ год } 8 \text{ хв} .$$

Час відстоювання води у відстійнику 1 година.

Отже, загальний час очищення води через мікробіологічну установку дорівнює

$$3 \text{ год } 7 \text{ хв} + 5 \text{ год } 8 \text{ хв} + 1 \text{ год} = 9 \text{ год } 15 \text{ хв.}$$

За один такий цикл очищається  $8 \text{ м}^3$  води. Отже ставок-накопичувач буде очищено за такий проміжок часу:

$$\frac{1600 * 9 \text{ год } 15 \text{ хв}}{8} = 76 \text{ днів } 2 \text{ год.}$$

Щодня на підприємстві маємо  $\frac{120 \text{ м}^3}{365 \text{ днів}} = 0,32 \text{ м}^3$  стічних вод, які містять ГМД. Для того, щоб забезпечити раціональну роботу установки та ефективно очищення води, установка буде вмикатися кожні  $\frac{8}{0,32} = 25 \text{ днів}$ .

**У четвертому розділі** запропоновано стартап-проект установки двоступеневого очищення стічної води хімічних підприємств, та введення її у виробництво.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи користувачів (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| Потреба, що формує ринок                                | Цільова аудиторія             | Вимоги споживачів до товару                                                                  |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Необхідність очищення ставка-накопичувача з ГМД         | ПАТ «Чернігівське Хімволокно» | 1. Ефективність очищення<br>2. Низька вартість продукту<br>3. Низькі затрати на експлуатацію |
| Необхідність очищення стічної води хімічних підприємств | Хімічні підприємства          |                                                                                              |

Досліджено удосконалену технологію очищення стічної води, що дозволяє отримати багатий і різноманітний біоценоз, який на 99% забезпечує біологічне очищення стічної води. Розрахована вартість установки складає 459 000 грн, термін окупності складає 4 місяці при комплексному використанню установки мікробіологічного очищення декількома підприємствами.

Проведено аналіз ринку та конкурентоспроможності дослідженої установки, наведено SWOT – аналіз установки мікробіологічного очищення стічної води хімічних підприємств (табл. 3)

Таблиця 3 – SWOT – аналіз стартап проекту

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Сильні сторони:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• принципово нова технологія</li> <li>• компактні розміри установки</li> <li>• ефективна робота установки</li> <li>• використання лише природних компонентів</li> <li>• низькі витрати на експлуатацію</li> <li>• автоматизована система управління</li> <li>• мобільність установки</li> </ul> | <b>Слабкі сторони:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• не використовувався на практиці</li> <li>• висока вартість</li> </ul>                                                                        |
| <b>Можливості:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• запровадження нової технології</li> <li>• вихід на міжнародні ринки</li> <li>• використання декількома підприємства</li> </ul>                                                                                                                                                                    | <b>Загрози:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• поява конкурентів</li> <li>• відсутність попиту на установку</li> <li>• поява нових технологій очищення води від специфічних забрудників</li> </ul> |

## ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація присвячена питанню очищення стічних вод хімічних підприємств двоступеневим мікробіологічним методом

З аналізу літературних джерел встановлено, що здатність окремих видів гідробіонтів аеротенку пристосовуватись до виживання в умовах забруднення гексаметилендіаміном вивчена недостатньо і залишається невирішеним актуальне завдання щодо використання аеробних гідробіонтів в процесі очищення стоків і від гексаметилендіаміну і від інших азотвмісних забруднювачів.

В магістерській дисертації було розроблено технологію двоступеневого очищення стічної від гексаметилендіаміну, запропоновано модернізацію наявної установки мікробіологічного очищення стічних вод хімічних підприємств, за рахунок встановлення змінних фільтрів та запропоновано комплексне використання установки мікробіологічного очищення стічних вод кількома підприємствами.

Встановлено, що при очищенні стічної води з концентрацією ГМД 1-4 г/л за допомогою запропонованої технології залишкова концентрація не досягала і 1,5 мг/л, тобто ступінь очищення води від ГМД становить 99,93%.

Ефективне очищення стічних вод від гексаметилендіаміна досягається застосуванням альтернативного мікробіологічного методу, який базується на використанні спорових бактерій *Bacillus subtilis* 21/3, дріжджів *Saccharomyces cerevisial*, грампозитивних бактерій *Arthrobacter species* 125 і установки мікробіологічної очистки.

В ході дослідження спорових бактерій *Bacillus subtilis* було встановлено функціональну залежність життєдіяльності цих бактерій від температури стоків та від концентрації ГМД в стічних водах хімічних підприємств, яка має вигляд  $y = -0,0731x^2 + 1,0193x - 0,1317$

Проведено аналіз ринку та конкурентоспроможності дослідженої установки, наведено SWOT – аналіз установки мікробіологічного очищення стічної води хімічних підприємств.

Розрахована вартість установки складає 459 000 грн, термін окупності складає 4 місяці при комплексному використанню установки мікробіологічного очищення декількома підприємствами.

Після всіх нововведень значно покращиться стан навколишнього природного середовища оскільки покращиться якість стічної води, а також підприємство зможе не тільки заощадити на екологічному збитку, але й отримуватиме прибуток від продажу очищеної води в технічних цілях.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Результати наукових досліджень були представлені на IX Міжнародній науково-технічній конференції «енергетика. екологія. людина» (25-26 травня 2017 р.), на XLIII Міжнародній науковій конференції «Актуальні наукові дослідження в сучасному світі (26-27 листопада 2018р)»

### АНОТАЦІЯ

Литвиненко В. А. «Модернізація установки мікробіологічного очищення стічних вод хімічних підприємств». – Рукопис

Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків. Робота виконана в обсязі 91 сторінки, містить 28 рисунків, 18 таблиць, 35 формул.

Метою дослідження є удосконалення установки мікробіологічного очищення стічної води від різних типів хімічних забруднень за рахунок впровадження двостадійної технології на пересувній установці

Об'єктом дослідження є процес очищення стічних вод хімічних підприємств, які містять гексаметилендіамін

Предметом дослідження показники процесу очищення стічних вод, що характеризуються технологічною і екологічною ефективністю впровадженої технології.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

Проведений аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки; проаналізовано ефективність роботи установки; запропоновано технологічну схему роботи установки зі змінними фільтрами; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу; встановлено залежність життєдіяльності мікроорганізмів від температури стоків та концентрації забруднювачів.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при виборі методу очистки стічних вод підприємств хімічних підприємств які містять гексаметилендіамін та інші забруднювачі.

**Ключові слова:** стічні води, біореактор, гексаметилендіамін, фільтратори, мікроорганізми; хімічне виробництво; мікробіологічне очищення.

### АННОТАЦИЯ

Литвиненко В. А. «Модернизация установки микробиологической очистки сточных вод химических предприятий». - Рукопись

Магистерская диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения. Работа выполнена в объеме 91 страница, содержит 28 рисунков, 18 таблиц, 35 формул.

Целью исследования является совершенствование установки микробиологической очистки сточной воды от различных типов химических загрязнений за счет внедрения двухстадийной технологии на передвижной установке.

Объектом исследования является процесс очистки сточных вод химических предприятий, содержащие гексаметилендиамин.

Предметом исследования показатели процесса очистки сточных вод, характеризующихся технологической и экологической эффективностью внедренной технологии.

Методы исследования: системный анализ научно-технической литературы; метод математического моделирования и прогнозирования; метод математической статистики для аппроксимации данных и установление зависимостей; методы современных компьютерных технологий обработки информации, в частности, пакет прикладных программ MS Excel; графикой-аналитический анализ.

Проведенный анализ технологического процесса и технико-экономических показателей работы установки; проанализирована эффективность работы установки; предложена технологическая схема работы установки со сменными фильтрами; экономически обосновать эффективность предложенного метода; установлена зависимость жизнедеятельности микроорганизмов от температуры стоков и концентрации загрязнителей.

Полученные результаты исследования необходимо учитывать при выборе метода очистки сточных вод предприятий химических предприятий содержащие гексаметилендиамин и другие загрязнители.

**Ключевые слова:** сточные воды, биореактор, гексаметилендиамин, фильтраторы, микроорганизмы; химическое производство; микробиологическое очистка.

## ABSTRACT

Lytvynenko Valeriia "Modernization of the installation of microbiological treatment of sewage on a chemical enterprises". - The manuscript.

The master's dissertation consists of an introduction, 4 chapters, conclusions. The work is executed in volume of 91 pages, contains 28 figures, 18 tables, 35 formulas.

The urgency of the work is to develop and implement an alternative and effective method for the treatment of wastewater from chemical enterprises from specific pollutants.

The aim of the research is a improvement the installation of microbiological treatment of waste water from various types of chemical contamination through the use of variable filters.

The object of the research is the process of wastewater treatment of chemical enterprises that contain hexamethylene diamine.

The subject of the research is the indicators of the process of sewage treatment, characterized by technological and environmental efficiency of the technology introduced.

The methods of research: systematic analysis of scientific and technical literature; method of mathematical modeling and forecasting; the method of mathematical statistics for data approximation and dependency determination; methods of modern computer technology of information processing, in particular, a package of applications of MS Excel; graphical-analytical analysis.

The carried-out analysis of the technological process and technical and economic indicators of the installation; the efficiency of the installation is analyzed; the technological scheme of the installation with variable filters is proposed; economically substantiate the effectiveness of the proposed method; the dependence of microorganisms on the temperature of waste water and concentration of pollutants.

The received results of the research should be taken into account when choosing the method of wastewater treatment of chemical enterprises that contain hexamethylenediamine and other pollutants.

**Keywords:** sewage, bioreactor, hexamethylenediamine, filtration, microorganisms; chemical production; microbiological purification.