

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним джерелом забруднення довкілля є стічні води (СВ) підприємств різних галузей. Інтенсивний розвиток промисловості, енергетики і транспорту, хімізація сільського господарства призвели до забруднення довкілля великою кількістю хімічних та радіоактивних речовин, тому очищення СВ від забруднення іонами важких металів (ВМ) є важливою проблемою сучасності. Значну загрозу становлять СВ, що містять високотоксичні іони Cu^{2+} та Cr^{6+} , зокрема, стоки металургійних і гальванічних виробництв. Сучасні фізико-хімічні та хімічні способи очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} не завжди забезпечують необхідний ступінь їх вилучення, а також вимагають значних коштів. Наявні нині біологічні способи, що базуються на властивостях мікроорганізмів до акумуляції або сорбції іонів ВМ, набувають все більшого розповсюдження. Особливо економічно вигідно використовувати як біосорбенти біомасу дріжджів, які є вторинним продуктом деяких харчових виробництв, що в свою чергу сприяє розв'язанню екологічної проблеми – утилізації відходів виробництва. Відомі біологічні способи потребують подальшого вдосконалення, оскільки мають такі недоліки – значну тривалість процесу, недостатній ступінь очищення, складність в організації безперервної роботи очисних споруд, тощо. Для підвищення конкурентоспроможності біосорбції необхідно скоротити тривалість сорбції та підвищити ступінь вилучення іонів ВМ.

Останнім часом усе більшого поширення набувають технології із застосуванням магнітного поля, що здатні забезпечити глибоке очищення робочих середовищ від різних домішок. Як свідчить практика, використання окремо одного з способів, наприклад, фізико-хімічного або біологічного, дає малий ефект. З огляду на це перспективним є поєднання біологічних способів очищення з магнітними технологіями.

Тому актуальним з екологічної та економічної точок зору є розроблення нових дешевих і ефективних способів біосорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} із стічних вод з використанням біомаси дріжджів та постійного магнітного поля (МП).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до тематики науково-дослідних робіт у Національному університеті харчових технологій, а саме:

- плану НДР Міністерства освіти і науки України з проблеми “Теоретичне та експериментальне дослідження механізмів дії високоградієнтних магнітних полів на харчові середовища та мікрооб’єкти в них” № 0100U000689.
- плану НДР Міністерства освіти і науки України з проблеми “Вплив постійного магнітного поля на взаємодію електролітів з металевими поверхнями” № 0103U001130.
- плану НДР Міністерства освіти і науки України з проблеми “ Дезактивація водних розчинів від мікроорганізмів комбінованим впливом постійного магнітного поля та феромагнітних елементів” № 0106U000412.

Особистий внесок автора полягає у проведенні експериментальних досліджень у лабораторних та промислових умовах, опрацюванні, аналізі та уза-

гальненні експериментальних даних, а також в оформленні наукових публікацій з теми дисертаційної роботи.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є розроблення ефективного способу очищення стічних вод шляхом сорбції іонів міді та шестивалентного хрому за допомогою дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, постійного магнітного поля та системи феромагнітних елементів.

Для вирішення поставленої мети було сформульовано наступні завдання досліджень:

- встановити вплив різних видів перемішування на ефективність сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами;
- визначити вплив постійного МП та характеристик феромагнітних елементів (ФЕ) на процес перемішування дріжджів;
- визначити оптимальні умови сорбційного процесу за комбінованої дії постійного МП та системи ФЕ;
- встановити вплив комбінованої дії постійного МП та системи ФЕ на виживання дріжджів;
- удосконалити біотехнологію очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами у постійному МП.

Об'єкт дослідження – біосорбція іонів ВМ дріжджами *Saccharomyces cerevisiae*.

Предмет дослідження – ФЕ; дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* 1968; біосорбційна здатність дріжджів.

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань використовували сучасні мікробіологічні, біохімічні, фізичні, математичні методи дослідження та комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено, що багатовихрове магнітогідродинамічне перемішування (МГДП) сприяє інтенсифікації процесу сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами.

Вперше показано залежність ступеня сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами *S. cerevisiae* від характеристик постійного МП.

Експериментально встановлено залежність багатовихрового МГДП середовища із дріжджами від характеристик зовнішнього постійного МП, рН водної суспензії та ФЕ. Оптимальними параметрами багатовихрового МГДП суспензії дріжджів є: величина напруженості постійного МП (\vec{H}) 80 – 320 кА/м, рН 2 – 4. Експериментально доведено переваги вуглецевої сталі серед різних матеріалів для виготовлення ФЕ.

Визначено оптимальні умови проведення процесу біосорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} із водної суспензії, а саме: величина напруженості постійного МП (\vec{H}) 240 кА/м, для іонів Cu^{2+} рН 4, тривалість процесу 12 – 15 хв., ступінь очищення близько 80 %; для іонів Cr^{6+} рН 2, тривалість процесу 1 – 3 хв., ступінь очищення близько 100 % .

Вперше показано вплив комбінованої дії постійного МП та ФЕ на виживання дріжджів *S. cerevisiae*. З'ясовано, що за 10 хв. впливу комбінованої дії ступінь виживання дріжджів становить близько 73 %.

Практичне значення одержаних результатів. На основі одержаних результатів розроблено та запропоновано новий спосіб очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} , що дозволяє забезпечити підвищення ступеня їх вилучення дріжджами за рахунок заміни механічного перемішування багатовихровим МГДП. Розроблено новий спосіб рівномірного перемішування водних розчинів на мікрорівні, який є необхідним для біосорбції іонів ВМ дріжджами, а також розроблено різні конструкції змішувачів для перемішування водних розчинів. Розроблено спосіб визначення швидкості розчинення ФЕ на основі взаємозв'язку між коефіцієнтом кореляції швидкості розчинення та швидкості потоків розчину, що виникають під дією постійного МП навколо ФЕ. Основні технічні рішення за темою дисертації захищено 7 патентами України та 13 деклараційними патентами на винахід. Запропоновано технологічну схему очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} з використанням дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та постійного МП в присутності ФЕ, яка дозволяє досягти практично повного очищення розчину від цих іонів (близько 100 %). Розроблена біотехнологія була випробувана на заводі “Гравітон” м. Чернівці, а розрахунковий економічний ефект від її впровадження становить близько 60 тис. грн/рік.

Особистий внесок здобувача. Автором проаналізовано наукову літературу з теми дисертації; проведено планування досліджень та обробку експериментальних даних, їх аналіз та співставлення з відомими розробками; підготовлено публікації за результатами досліджень. Здобувачем особисто досліджено швидкість сорбції дріжджами *S. cerevisiae* іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} при використанні багатовихрового МГДП та проведено експериментальні дослідження залежності ефекту МГДП суспензії дріжджів від різних параметрів, експериментально встановлено швидкість розчинення ФЕ у різних умовах. Планування основних напрямів роботи та узагальнення результатів проведено разом з науковим керівником д.т.н., професором С.В.Горобець (Національний технічний університет “КПІ”) та д.ф.-м.н. О.Ю. Горобець (Інститут магнетизму НАНУ). Отримання біомаси дріжджів *S. cerevisiae*, встановлення впливу комбінованої дії постійного МП та ФЕ на виживання цих дріжджів та кількісний аналіз іонів Cu^{2+} атомно-адсорбційним методом проведено спільно з к.б.н. Касаткіною Т.П. (Інститут мікробіології і вірусології НАНУ), які є співавторами відповідних публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було обговорено на наукових конференціях: International conference on magnetism ICM(Italy, Roma, 2003); International conference “Functional Materials” ICFM-2003(Ukraine, Crimea, Partenit, 2003); IX Міжнародній науково-технічній конференції “Нові технології та технологічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодні і перспективи” (Київ, 2005р.); International conference “Functional Materials” ICFM-2005 (Ukraine, Crimea, Partenit, 2005); 8th International Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter (Poland, Nałęczów, 2005); International conference “Functional Materials” ICFM-2007 (Ukraine, Crimea, Partenit, 2007 p.).

Публікації. За матеріалами дисертації надруковано 39 наукових праць, у тому числі: 11 статей (7 – у фахових та 4 – у зарубіжних виданнях), 8 тез допо-

відей на міжнародних наукових конференціях, 13 деклараційних патентів, 7 патентів України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 117 сторінках машинописного тексту і складається з вступу, огляду літератури, 4-х – розділів, висновків, 10 додатків, списку використаних джерел, який містить 181 посилання. Робота містить 3 таблиці та 45 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, охарактеризовано наукову та практичну цінність роботи, наведено відомості стосовно особистого внеску автора, апробації результатів дисертації, структури та обсягу роботи.

Огляд літератури представлено одним розділом, в якому увага приділяється розповсюдженню ВМ у навколишньому середовищі та вплив їх на живі організми, аналізу різних способів очищення СВ від іонів ВМ, висвітленню питання біосорбції ВМ дріжджами, важливій ролі одного з основних чинників інтенсифікації біотехнологічних процесів – перемішуванню; показано недоліки механічного перемішування, розкриті аспекти використання МП та МГДП у біотехнологічних процесах.

У другому розділі “*Матеріали та методи досліджень*” наведено характеристики предмета та методів досліджень, описи розробленої експериментальної установки для створення магнітного поля та розробленої методики для дослідження впливу постійного МП на сорбцію іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} .

В експериментах використовували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* 1968, люб’язно надані Інститутом мікробіології і вірусології НАНУ.

Робочі розчини металів готували у фосфатному буфері застосовуючи солі $Cu(NO_3)_2$, K_2CrO_4 . Початкова концентрація іонів ВМ була: іонів Cu^{2+} 50 мг/л та іонів Cr^{6+} 50 – 200 мг/л (характерні для стоків гальванічного виробництва).

Для дослідження розподілу швидкостей водних розчинів від різних параметрів готували розчини $Cu(NO_3)_2$ концентрацією 50 мг/л Cu^{2+} та розчини HNO_3 .

У біосорбційних випробуваннях використовували живі та неживі дріжджі. Для того, щоб отримати неживу культуру дріжджів біомасу сушили за $105^\circ C$, суху біомасу розтирали у фарфоровій ступці до однорідної порошкової маси. Біосорбційні випробування визначали за рН 2 та рН 4, які є оптимальними для сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} . Наважку біомаси дріжджів у кількості 25 мг АСР додавали у індивідуальні розчини іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} у фосфатному буфері. Співвідношення маси дріжджів до розчину іонів ВМ – 1:1. Отриманою сумішшю заповнювали скляну кювету (60 x 35 x 10 мм) з системою ФЕ (циліндри 30 x 0,5 мм), яку поміщали у постійне МП і витримували від 1 до 60 хв. Контрольні експерименти проводили без МП. ФЕ розташовували як паралельно так і перпендикулярно напрямку МП.

Ступінь сорбції металів визначали за формулою: $R = \frac{\Delta C}{C_0} \cdot 100\%$, де

$\Delta C = C_0 - C_k$; C_0 та C_k – початкова та кінцева концентрації металів у розчині. Кількісне визначення іонів Cu^{2+} у розчині здійснювали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі типу С-115-М1, а іонів Cr^{6+} – дифенілкарбазидним методом.

Для дослідження комбінованої дії МП та системи ФЕ на виживання дріжджів *S. cerevisiae* використовували водну суспензію клітин, змитих із дводобової культури, яку вирощували на агаризованому середовищі – суслі за 28 °С. Отриманою суспензією клітин з концентрацією біля 10^6 КУО/мл заповнювали скляні кювети з системою ФЕ та поміщали їх в МП. Проби відбирали через 5, 10, 15, 20, 30 хв. процесу.

Для визначення оптимальних умов біосорбції іонів ВМ дріжджами було розроблено методику проведення експериментів і створено експериментальну установку, яка складалась із електромагніту, кювети та системи для візуалізації.

Біотехнологія передбачає очищення розчинів від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами в проточних умовах, для чого в експериментальній установці була створена проточна система (рис.1).

Рис.1. Схема проточної системи: 1 – резервуар із СВ; 2 – регулятор швидкості витікання рідини; 3,4 – вхідний і вихідний патрубки; 5 – кювета; 6 – насадка із ФЕ; 7 – магнітна система.

У дослідженнях швидкості розчинення ФЕ використовували циліндри із вуглецевої сталі (ДСТУ 1050 – 88) та карбонільного заліза. Кювету з ФЕ, яку попередньо знежирювали та зважували, заповнювали розчином, а потім поміщали в установку. Після проведення експерименту ФЕ промивали, знімали утворений шлам, сушили та зважували. Скляні кювети були циліндричної або прямокутної форми.

Для оцінки відхилення істинного значення вимірюваної величини визначали довірчий інтервал.

Статистичне оброблення результатів досліджень виконано з використанням програмного забезпечення *Mathcat Professional* та *Excel*.

У третьому розділі “Оптимізація параметрів багатовихрового магнітогідродинамічного перемішування суспензії дріжджів” представлено результати досліджень різних чинників багатовихрового МГДП для оптимізації сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами, а також дані про хімічне розчинення ФЕ за умов різної напруженості МП.

Одним із важливих чинників сорбції іонів ВМ дріжджами є перемішування. Встановлено, що без перемішування сорбція цих іонів дріжджами не відбувається. В експериментах з використанням різних способів перемішування суспензії визначено, що дріжджі за 25 хв. при механічному перемішуванні (на качалках 240 об/хв.) сорбують лише 2 % іонів Cu^{2+} та 5 % іонів Cr^{6+} (рис. 2 та 3), а

при використанні багатовихрового МГДП, яке виникає при введенні в суспензію ФЕ під впливом постійного МП, дріжджами сорбується близько 80 % іонів Cu^{2+} та близько 100 % іонів Cr^{6+} . Це свідчить про переконливу перевагу багатовихрового МГДП.

Рис. 2. Вплив перемішування на сорбційну здатність дріжджів відносно іонів Cu^{2+} : 1 – МГДП; 2 – механічне.

Рис. 3. Вплив перемішування на сорбційну здатність дріжджів відносно іонів Cr^{6+} : 1 – МГДП; 2 – механічне.

У зв'язку з цим напрямом подальших досліджень стало з'ясування різних чинників, що впливають на багатовихрове МГДП і на оптимізацію процесу сорбції цих іонів дріжджами.

Залежність швидкості потоку водної суспензії в кюветі від рН свідчить, що чим нижча кислотність середовища, тим більша швидкість потоку, тобто перемішування інтенсифікується. З аналізу джерел літератури відомо, що для біосорбції дріжджами *S. cerevisiae* оптимальним значенням для іонів Cu^{2+} є рН 3,5 – 5,0 для іонів Cr^{6+} рН 1,0 – 2,0, тому в наступних дослідженнях ми використовували рН 4 (для іонів Cu^{2+}) та 2 (для іонів Cr^{6+}).

Встановлено (рис. 4), що сорбційна здатність дріжджів за різної величини напруженості МП відрізняється незначно, але при напруженості МП ≤ 240 кА/м можливе використання недорогих постійних магнітів, що зовсім не потребує витрат електроенергії.

Дослідження залежності швидкостей потоків від характеристик ФЕ та їх кількості показали, що максимальна швидкість потоку суспензії досягається навколо елемента, виготовленого з вуглецевої сталі. Цей параметр практично не змінюється від кількості елементів та відстані між ними. Швидкість багатовихрового МГДП залежить від розподілу швидкостей потоків суспензії навколо окремих ФЕ.

Рис. 4. Сорбційна здатність дріжджів *S. cerevisiae* в залежності від напруженості МП, кА/м: 1 – 320; 2 – 240; 3 – 160.

Нами встановлено, що відстань, за якої досягається максимальна швидкість потоків суспензій, становить три діаметри самого елемента.

На основі експериментальних даних та їх статистичної обробки було встановлено емпіричні формули залежностей швидкостей потоків водних суспензій від різних діаметрів ФЕ та від відстані до поверхні цього елемента. На основі цих формул можна прогнозувати ці залежності та будувати теоретичні криві.

Встановлено, що багатовихрове МГДП прискорює розчинення ФЕ в водних суспензіях, тому було доцільно з'ясувати, чи є взаємозв'язок між залежністю швидкості розчинення ФЕ та швидкості потоків суспензії навколо цього елемента. Аналіз кореляції між цими залежностями показав, що швидкість розчинення ФЕ можна знаходити за швидкостями потоків суспензії, що виникають під дією постійного МП. На підставі рівняння залежності швидкості розчинення ФЕ від параметрів постійного МП та характеристик ФЕ, можна визначити кількість заліза, що розчиняється при перемішуванні дріжджів, що в свою чергу використовується нами в доочищенні водних суспензій від заліза після сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами.

У четвертому розділі “Дослідження процесу вилучення іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами *S. cerevisiae* із суспензії під впливом магнітного поля” представлено результати вилучення іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} із суспензії за сукупної дії біосорбції та постійного МП в присутності ФЕ.

Встановлено, що при комбінованому впливі (дріжджі та МГДП) за перші 5 хв. дріжджами із суспензії вилучається іонів Cu^{2+} близько 70 %, без МП – близько 20 %, без багатовихрового МГДП сорбція цих іонів дріжджами зовсім не відбувається (рис.5).

Рис.5. Вилучення іонів Cu^{2+} із суспензії дріжджами в умовах: 1 – МГДП; 2 – з ФЕ без МП; 3 – без МГДП.

Представлені дані свідчать, що при використанні комбінованого впливу дріжджів та МГДП значно скорочується тривалість сорбції та підвищується ефективність вилучення іонів Cu^{2+} із суспензії.

Залежність рівня сорбції іонів Cu^{2+} від геометрії розташування ФЕ в магнітному полі подано на рис.6, з якого видно, що за паралельного розташування ФЕ із суспензії вилучається близько 70 % іонів Cu^{2+} за 5 хв., а за перпендикулярного близько 45 %, тому ми в наступній роботі ФЕ розташовували паралельно напрямку МП.

Рис.6. Вплив способу розташування ФЕ на вилучення іонів Cu^{2+} дріжджами: 1 – паралельний; 2 – перпендикулярний; 3 – без МП.

Результати експериментів з використанням дріжджів та багатовихрового МГДП показали, що вилучення іонів Cu^{2+} із суспензії відбувається ефективніше, ніж у разі дії кожного чинника окремо (рис.7).

Рис.7. Вилучення іонів Cu^{2+} із суспензії за допомогою: 1 – дріжджів та МГДП; 2 – МГДП; 3 – дріжджів без МГДП.

За результатами експериментів було отримано динаміку вилучення іонів Cu^{2+} дріжджами (рис.8), яка розраховується як різниця між відсотком вилучення іонів Cu^{2+} дріжджами при багатовихровому МГДП та контролем – вилучення цих іонів без дріжджів з використанням ФЕ при МГДП. З рис. 8 видно, що після 15 хв. (точка перетину двох кривих) при механічному перемішуванні дрі-

дріжджі сорбують іони Cu^{2+} краще ніж при використанні МГДП, але повного вилучення цих іонів не відбувається. При використанні багатовихрового МГДП сорбція іонів Cu^{2+} дріжджами краще проходить за перші 12 – 15 хв.

Рис. 8. Динаміка вилучення іонів Cu^{2+} дріжджами при перемішуванні: 1 – багатовихровому МГДП; 2 – механічному.

Одержані дані свідчать, що за допомогою культури дріжджів та МГДП можна значно інтенсифікувати процес сорбції іонів Cu^{2+} . Тривалість процесу сорбції 12 – 15 хв., розташування ФЕ – паралельно напрямку МП.

Із даних літератури відомо, що рівень біосорбції неживою культурою є вищим порівняно з живою, але за даними наших досліджень в умовах МГДП за

перші 10 хв. жива культура сорбує іони Cu^{2+} на 15 % більше ніж нежива (рис. 9), що дає можливість припустити, що постійне МП та ФЕ впливають на функціональну активність та життєздатність дріжджів.

Рис. 9. Сорбційна здатність біомаси дріжджів при багатовихровому МГДП по відношенню до іонів Cu^{2+} : 1 – жива; 2 – нежива.

Встановлено, що через 10 хв. впливу постійного МП в присутності ФЕ виживання дріжджів становить близько 73 %.

Аналогічні дослідження були проведені стосовно іонів Cr^{6+} . Досліджували вилучення іонів Cr^{6+} за різних умов (рис.10). Встановлено, що при використанні біомаси дріжджів та багатовихрового МГДП повне очищення суспензії від іонів Cr^{6+} відбувається за 1 – 3 хвилини.

Рис. 10. Вилучення іонів Cr^{6+} : 1 – дріжджі та МГДП; 2 – МГДП; 3 – без МГДП.

Таким чином, тривалість процесу сорбції іонів Cr^{6+} дріжджами за допомогою багатовихрового МГДП складає 1 – 3 хв.

Паралельно з очищенням суспензії від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} під впливом МП відбувається розчинення ФЕ і в суспензію переходить певна кількість заліза. В цьому разі перспективним є використання процесу феритизації. Визначивши швидкість розчинення ФЕ, кількість іонів заліза та використавши процес феритизації, ми розробили новий комбінований спосіб доочищення водних суспензій від іонів ВМ з наступним отриманням кристалічного металевих осаду з магнітними властивостями – магнетиту – у вигляді мікрочасток, тобто магнітних міток, які мають широкий спектр застосування. Одночасно із проходженням процесу феритизації отримані частки магнетиту (магнітні мітки) приєднуються до дріжджів і дріжджі стають магнітокерованими. При цьому з'являється можливість вилучення цих дріжджів магнітною фільтрацією.

У п'ятому розділі *“Технологічні та економічні показники процесу очищення стічних вод від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} під впливом постійного магнітного поля в присутності феромагнітних елементів”* узагальнено результати досліджень, які були основою розробки біотехнології очищення стоків від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} та техніко-економічні показники даної технології.

Стоки гальванічного цеху заводу з виробництва інтегральних мікросхем «Гравітон» містили окремо мідь у концентрації близько 50 мг/л Cu^{2+} та хром – близько 50 – 100 мг/л Cr^{6+} , рН СВ 2 – 4.

У періодичних умовах використовували камеру з системою ФЕ, СВ із дріжджами, яку поміщали у постійне МП. Відстань між окремими елементами становила три діаметри самого елемента. Тривалість процесу сорбції дріжджами іонів Cu^{2+} складала 12 – 15 хв., а іонів Cr^{6+} – 1 – 3 хв. Ступінь очищення від цих іонів складав близько 100 %.

Розроблено принципову (рис.11) та апаратурно-технологічну (рис.12) схеми очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} .

Рис. 11. Принципова схема очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами у постійному МП в присутності ФЕ.

Техніко-економічні показники очищення СВ у розробленій нами біотехнології у порівнянні з промисловим очищенням на ВАТ “Гравітон” м. Чернівці свідчать про перевагу запропонованого способу за рахунок використання постійних магнітів як генераторів МП та біомаси дріжджів, які є вторинним продуктом. Важливою ознакою розробленої нами біотехнології є те, що вона не

тільки забезпечує швидке та ефективне очищення СВ від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} , а й дає можливість отримати магнетит, феритизоване активоване вугілля з включенням міді та хрому. Як феромагнітні елементи можна використовувати дешеві металеві відходи машинобудівних підприємств (стружку).

Рис. 12. Апаратурно-технологічна схема вилучення іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами під впливом МП в присутності ФЕ з використанням обладнання: 1 – резервуар для змішування СВ; 2 – насос-дозатор; 3 – магніти; 4 – резервуар для феритизації; 5 – магнітна фільтрація; 6 – апарат для спалювання.

Умовні позначення: 1.0 – стічна вода; 1.3 – вода із дріжджами та іонами ВМ; 1.4 – очищена вода із дріжджами та іонами Fe^{2+} ; 1.9 – суспензія з магнітокеруваними дріжджами та частками магнетиту; 12 – HNO_3 ; 13 – розчин $NaOH$; 28 – дріжджі; 29 – осад з дріжджами та магнетитом; 30 – феритизоване активоване вугілля.

Загальний річний очікуваний економічний ефект становить близько 60 тис. грн/рік.

Таким чином, впровадження розробленої технології очищення СВ від іонів ВМ є доцільним не тільки з екологічної, а й з економічної точок зору.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу джерел літератури, експериментальних даних досліджень наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково – практичної проблеми очищення СВ шляхом інтенсифікації сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} з використанням культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та постійного магнітного поля. Вирішення цієї науково – практичної проблеми досягається за рахунок заміни механічного перемішування багатовихровим магнітогідродинамічним перемішуванням суспензії дріжджів, яке виникає при введенні в суспензію ФЕ під впливом постійного МП.

1. Розроблено методику та створено експериментальну установку для дослідження впливу постійного МП на процес сорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами та багатовихрового МГДП.

2. Встановлено, що дріжджі *S. cerevisiae* за 25 хв. за механічного перемішування сорбують лише 2 % іонів Cu^{2+} , тоді як за застосування багатовихрового МГДП дріжджами сорбується близько 80 % цих іонів.

3. Встановлено, що дріжджі *S. cerevisiae* за механічного перемішування вилучають близько 23 % іонів Cr^{6+} за 180 хв., за МГДП – близько 100 % іонів Cr^{6+} за перші хвилини.

4. Вперше експериментально встановлено залежність багатовихрового МГДП суспензії дріжджів від параметрів зовнішнього МП та характеристик ФЕ. Оптимальні умови багатовихрового МГДП суспензії дріжджів є: рН 2 – 4, величина напруженості постійного магнітного поля 80 – 320 кА/м, розташування ФЕ – паралельно напрямку МП на відстані трьох діаметрів самого елемента.

5. Визначено оптимальні умови проведення процесу біосорбції іонів Cu^{2+} із суспензії за допомогою багатовихрового МГДП, якими є: рН 4, величина напруженості постійного МП – 240 кА/м, тривалість процесу 12 – 15 хв., ступінь очищення близько 80 %.

6. Визначено оптимальні умови проведення процесу біосорбції іонів Cr^{6+} із суспензії за допомогою багатовихрового МГДП, якими є: рН 2, величина напруженості постійного МП 240 кА/м, тривалість процесу 1 – 3 хв., ступінь очищення близько 100 %.

7. Встановлено, що сорбційна активність дріжджів під впливом постійного МП в присутності ФЕ притаманна як живим так і неживим клітинам, але жива культура дріжджів *S. cerevisiae* за перші 10 хв. сорбує іони Cu^{2+} на 15 % більше, ніж нежива.

8. Розроблена біотехнологія очищення іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} з використанням культури дріжджів *S. cerevisiae* та постійного МП в присутності ФЕ випробувана на заводі по виробництву інтегральних мікросхем “Гравітон” м. Чернівці. Розрахунковий економічний ефект від впровадження становить близько 60 000 грн./ рік.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Інтенсифікація сорбції іонів міді дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* 1968 в постійному магнітному полі / С.В. Горобець, Т.П. Касаткіна, О.Ю. Горобець, А.І. Українець, І.Ю. Гойко // Харчова промисловість. – 2004. – №3. – С. 107–109.

Особистий внесок: брала участь у проведенні пошуку джерел літератури, експериментальних досліджень, обробленні результатів, підготовці та оформленні матеріалів до публікації.

2. Горобець С.В. Магнітогідродинамічне перемішування електроліту навколо феромагнітних елементів під впливом постійного магнітного поля / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, І.Ю. Гойко // Наукові праці НУХТ.– 2005.– №16. – С.138–140.

Особистий внесок: провела пошук джерел літератури, брала участь у проведенні експериментальних досліджень, обробленні та узагальненні результатів залежності швидкостей потоків розчину від різних параметрів, написанні та оформленні статті.

3. Вплив магнітного поля на виживаність і фізіологічну активність дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* 1968 / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, Т.П. Касаткіна, І.Ю. Гойко // Харчова промисловість. – 2005.– № 4. – С.106–108.

Особистий внесок: брала участь у підборі і теоретичному аналізі джерел літератури, експериментальних досліджень, узагальненні результатів, підготовці та оформленні матеріалів до публікації.

4. Intensification of copper and chromium (VI) removal from solutions in magnetic fields / S. Gorobets, O. Gorobets, I. Goyko, T. Kasatkina // Functional Materials. – 2004. – Vol.11, №4. – P.793–797.

Особистий внесок: брала участь у проведенні пошуку джерел літератури,

експериментальних досліджень, обробленні та узагальненні результатів, підготовці матеріалів до публікації.

5. Горобець С.В. Визначення швидкості корозії за швидкістю потоків електролітів навколо металевих елементів у магнітному полі / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, І.Ю.Гойко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2005. – № 2. – С.126–129.

Особистий внесок: брала участь у підборі і теоретичному аналізі джерел літератури, визначенні швидкості корозії металевих елементів, обробленні та узагальненні результатів, написанні та оформленні статті.

6. Ускорение биосорбции ионов меди из раствора в магнитном поле дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* 1968 / С.В. Горобец, О.Ю. Горобец, И.Ю. Гойко, Т.П. Касаткина // Биофизика. – 2006.– Т. 51, вып.3.– С.504–508.

Особистий внесок: брала участь у проведенні пошуку джерел літератури, експериментальних досліджень, обробленні результатів, написанні та оформленні статті.

7. Самоорганизована квазіперіодична мікроструктура поверхні залізного циліндра при корозії в електролітах і магнітному полі / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, О.А. Дейна, І.Ю. Гойко // Металлофизика и новейшие технологии. – 2006.– Т.28, № 4.– С. 473–479.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні експериментів, обробленні та узагальненні результатів, оформленні статті.

8. Intensification of the process of sorption of copper ions by yeast of *Saccharomyces cerevisiae* 1968 by means of a permanent magnetic field / S. Gorobets, O. Gorobets, A. Ukrainetz, T. Kasatkina, I. Goyko // Journal of Magnetism and Magnetic Materials.– 2004.– Vol. 272 – 276.– P. 2413–2414.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментів, обробленні результатів, написанні та оформленні статті.

9. Интенсификация процесса очистки сточных вод от ионов шестивалентного хрома в магнитном поле / С.В. Горобец, О.Ю. Горобец, И.Ю. Гойко, Т.П. Касаткина // Экология и промышленность России. – 2004.– № 11.– С.16–17.

Особистий внесок: брала участь у проведенні пошуку джерел літератури, проведенні експериментів, обробленні результатів, написанні та оформленні статті.

10. Magnetohydrodynamic mixer of an electrolytes solution / S. Gorobets, O. Gorobets, I. Goyko, S. Mazur // Physica status solidi. – 2004.– Vol.1, N12. – P. 3455–3457.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментів, обробленні та узагальненні результатів залежності швидкостей потоків розчину від різних параметрів, написанні статті.

11. Влияние магнитного поля на процесс травления стали в растворах азотной кислоты / С.В. Горобец, М.И. Донченко, О.Ю. Горобец, И.Ю. Гойко // Журнал физической химии. – 2006.– Т.80, № 5. – С.908–912.

Особистий внесок: брала участь у проведенні пошуку джерел літератури, плануванні та проведенні експериментів, обробленні результатів, написанні та

оформленні статті.

12. Пат. 57236 Україна МПК⁷ В 01 D 35/06. Магнітний фільтр / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002043603 ; заявл. 29.04.2002 ; опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, підготовці матеріалів, написанні та оформленні заявки на патент.

13. Пат. 54295 Україна МПК⁷ В 01 F 13/08. Спосіб перемішування водних розчинів / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002075832 ; заявл. 15.07.2002; опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, плануванні та проведенні експериментальних досліджень, узагальненні та аналізі їх результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

14. Пат. 55792 Україна МПК⁷ В 01 F 13/08. Змішувач / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Решетняк С.О.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002065177 ; заявл. 21.06.2002 ; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, розробці конструкції змішувача, підготовці матеріалів, написанні та оформленні заявки на патент.

15. Пат. 58825 Україна МПК⁷ В 01 D 35/06, В 03 C1/30. Високоградієнтна феромагнітна насадка / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Українець А.І., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002118773 ; заявл. 05.11.2002 ; опубл. 15.08.05, Бюл. № 8.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, обробленні матеріалів, написанні та оформленні заявки на патент.

16. Пат. 58979 Україна МПК⁷ С 02 F 1/28, 1/62, 1/48, 3/34. Спосіб очищення стічних вод від іонів міді / Гулий І.С., Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002129606 ; заявл. 02.12.2002 ; опубл. 15.08.05, Бюл. № 8.

Особистий внесок: провела патентний пошук, приймала участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

17. Пат. 63816 Україна МПК⁷ С 02 F1/46, 1/48, 1/62. Спосіб очищення стічних вод від іонів хрому / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2003076644 ; заявл. 15.07.2003 ; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, плануванні та проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

18. Пат. 65151 Україна МПК⁷ В 01 F 13/08. Багаторівневий змішувач / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Українець А.І., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2003065315 ; заявл. 09.06.2003 ;

опубл. 15.02.2006, Бюл. №2.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, розробці конструкції змішувача, написанні та оформленні заявки на патент.

19. Деклараційний пат. UA 57236 A, МПК⁷ В 01 D 35/06, В 03 С 1/30. Магнітний фільтр / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002043603 ; заявл. 29.04.2002 ; опубл. 16.06.2003, Бюл. №6.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

20. Деклараційний пат. UA 55792 A, МПК⁷ В 01 F 13/08. Змішувач /Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Решетняк С.О.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002065177 ; заявл. 21.06.2002 ; опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, розробці конструкції змішувача, написанні та оформленні заявки на патент.

21. Деклараційний пат. UA 58825 A, МПК⁷ В 01 D 35/06, В 03 С 1/30. Високоградієнтна феромагнітна насадка / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Українець А.І., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002118773 ; заявл. 05.11.2002 ; опубл.15.08.03, Бюл.№8

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментальних досліджень, узагальненні та обробленні їх результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

22. Деклараційний пат. UA 54295 A, МПК⁷ В 01 F 13/08. Спосіб перемішування водних розчинів / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002075832; заявл. 15.07.2002 ; опубл. 17.02.2003, Бюл. №2.

23. Деклараційний пат. UA 58979 A, МПК⁷ С 02 F 1/28. Спосіб очищення стічних вод від іонів міді / Гулий І.С., Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П. ; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2002129606 ; заявл. 02.12.2002 ; опубл.15.08.03, Бюл. № 8.

Особистий внесок: у патентах 22–23 брала участь у проведенні патентного пошуку, експериментальних досліджень, узагальненні та обробленні отриманих результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

24. Деклараційний пат. UA 65151 A, МПК⁷ В 01 F 13/08. Багаторівневий змішувач / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Українець А.І., Гойко І.Ю.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2003065315 ; заявл. 09.06.2003 ; опубл. 15.03.2004, Бюл. №3.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, розробці конструкції змішувача, написанні та оформленні заявки на патент.

25. Деклараційний пат. UA 70640 A, МПК⁷ С 02 F 1/46. Пристрій для очищення стічних вод від шестивалентного хрому / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 20031211871 ; заявл. 18.12.2003 ; опубл. 15.10.04, Бюл. № 10.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, експе-

риментальних досліджень, розробленні конструкції пристрою, написанні та оформленні заявки на патент.

26. Деклараційний пат. UA 63816 A, МПК⁷ С 02 F 1/62. Спосіб очищення стічних вод від іонів хрому / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 2003076644 ; заявл. 15.07.2003 ; опубл. 15.01.04, Бюл. № 1.

27. Деклараційний пат. UA 70644 A. МПК⁷ С 02 F 1/62. Спосіб очищення стічних вод від іонів хрому / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 20031211875 ; заявл. 18.12.03 ; опуб. 15.10.04, Бюл. № 10.

28. Деклараційний патент на корисну модель UA 4974 МПК⁷ С 02 F 1/62. Спосіб очищення стічних вод від іонів шестивалентного хрому / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 20040604390 ; заявл. 07.06.2004 ; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.

Особистий внесок: у патентах 26 – 28 брала участь у проведенні патентного пошуку, експериментальних досліджень, узагальненні та обробленні результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

29. Деклараційний патент на корисну модель 4972 МПК⁷ С 23 F 11/04. Спосіб проведення швидких корозійних випробувань заліза / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Дейна О.А.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 20040604388 ; заявл. 07.06.2004 ; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2.

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, вимірюванні швидкості корозії заліза, узагальненні та обробленні результатів, написанні та оформленні заявки на патент.

30. Деклараційний патент на корисну модель UA 10651 МПК⁷ С 02 F 1/28. Спосіб очищення стічних вод від іонів міді / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Мазур С.П.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 200505206 ; заявл. 31.05.2005 ; опубл. 15.05.05, Бюл. №11.

Особистий внесок: брала участь у патентному пошуку, розробці проведення методу феритизації, написанні та оформленні заявки на патент.

31. Деклараційний патент на корисну модель UA 25650 МПК⁷ С 02 F 1/46. Спосіб очищення води від мікроорганізмів / Українець А.І, Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Зінюк О.І.; замовник та патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 200704740 ; заявл. 27.04.2007 ; опуб. 10.08.07, Бюл. №12

Особистий внесок: брала участь у проведенні патентного пошуку, розробці способу прикріплення магнітних міток до мікроорганізмів, написанні та оформленні заявки на патент.

32. Intensification of the process of sorption of copper ions by yeast of *Saccharomyces cerevisiae* 1968 by means of a permanent magnetic field / S. Gorobets, O. Gorobets, A. Ukrainetz, T. Kasatkina, I. Goyko : book of abstracts International conference on magnetism [ICM 2003], (Roma, july 27 – august 1, 2003) – Roma (Italy), 2003. – 746 p.

Особистий внесок: брала участь у проведенні досліджень, обробці експериментальних даних та написанні тез.

33. Copper ion extraction from solution in a magnetic fields / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, A.I. Ukrainetz, I.Yu. Goyko, T.P. Kasatkina, O.G. Losovaya : abstracts International conference [“Functional Materials” ICFM-2003], Crimea, Partenit, 2003. – 232 p.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, аналізу їх результатів, оформленні тез.

34. Intensification of waste water filtration in galvanic manufacture from Cr^{6+} ions in a magnetic field / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, T.P. Kasatkina, I.Yu. Goyko : abstracts International conference [“Functional Materials” ICFM-2003], Crimea, Partenit, 2003. – 233 p.

Особистий внесок: брала участь у проведенні експериментальних досліджень, аналізу їх результатів, оформленні тез.

35. Gorobets S.V. Method of mixing of aqueous solution by means of a magnetic field / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, I.Yu. Goyko : abstracts International conference [“Functional Materials” ICFM-2003], Crimea, Partenit, 2003. – 231 p.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, аналізу їх результатів, оформленні тез.

36. Очищення стічних вод від іонів важких металів / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, І.Ю. Гойко, С.П. Мазур : матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конф. [“Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодні і перспективи”], (Київ, 17 – 19 жовт. 2005 р.) / М-во освіти і науки України, Націон. ун-т харч. технол.– К.: НУХТ, 2005. – ч.І. – 56 с.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні процесу феритизації, оформленні тези доповіді та зробила доповідь на конференції.

37. Electrolyte stirring in the vicinity of metallic matrix inducted by a permanent magnetic field / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, I.Yu. Goyko, S.P. Mazur : book of abstracts 8th International Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter, (8 – 10 septem. 2005), Nałęczów, Poland, 2005. – 6 p.

Особистий внесок: брала участь у дослідженні швидкостей перемішування від різних параметрів, аналізу їх результатів, оформленні тез.

38. Combined method of waste water purification of heavy metal ions / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, I.Yu. Goyko, S.P. Mazur : abstracts International conference [“Functional Materials” ICFM-2005], Ukraine, Crimea, Partenit, 2005. – 349 p.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, аналізу їх результатів та оформленні тези доповіді.

39. Intensification of the process of sorption of copper ions by *Saccharomyces cerevisiae* 1968 depending on a permanent magnetic field / S.V. Gorobets, T.P. Kasatkina, I.Yu. Goyko, O.I. Zinuk : abstracts International conference [“Functional Materials” ICFM-2007], Ukraine, Crimea, Partenit, 2007. – 499 p.

Особистий внесок: брала участь у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, аналізу їх результатів, оформленні тез.

АНОТАЦІЇ

Гойко І.Ю. Інтенсифікація сорбції іонів міді та хрому дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* в магнітному полі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія (технічні науки). – Національний університет харчових технологій, Київ, 2008.

Дисертація присвячена актуальному питанню розроблення ефективного способу очищення стічної води від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* та постійним магнітним полем.

З'ясовано, що використання багатовихрового магнітогідродинамічного перемішування, яке виникає при введенні в суспензію феромагнітних елементів, під впливом постійного магнітного поля значно інтенсифікує сорбцію іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} дріжджами. Визначено вплив постійного магнітного поля, характеристик феромагнітних елементів на перемішування суспензії дріжджів. Визначено оптимальні умови проведення процесу біосорбції іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} із суспензії при застосуванні багатовихрового магнітогідродинамічного перемішування. Такими умовами є: величина напруженості постійного магнітного поля 240 кА/м – для іонів Cu^{2+} – рН 4, тривалість процесу 12 – 15 хв., ступінь очищення близько 80 %; для іонів Cr^{6+} рН 2, тривалість процесу 1 – 3 хв., ступінь очищення близько 100 % .

За результатами роботи було проведено промислові випробування очищення вод гальванічного цеху від іонів Cu^{2+} та Cr^{6+} . Розрахунковий економічний ефект від впровадження становить близько 60 тис. грн./рік.

Ключові слова: дріжджі, сорбція, багатовихрове магнітогідродинамічне перемішування, магнітне поле, феромагнітні елементи.

Гойко І.Ю. Интенсификация сорбции ионов меди и хрома дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в магнитном поле. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 03.00.20 – биотехнология (технические науки). – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2008.

Диссертация посвящена разработке нового дешевого способа очистки сточной воды от ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* и постоянным магнитным полем, повышению степени очистки, уменьшению времени процесса за счет замены механического перемешивания многовихревым магнитогидродинамическим.

В работе на основании изучения данных литературы проанализированы различные способы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, их недостатки и сформулированы основные проблемы, которые существуют в этой области.

Показано, что для эффективной и быстрой сорбции ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} дрожжами из водного раствора необходимо перемешивание суспензии дрожжей. Выяснено, что, если вместо обычно используемого механического перемешивания использовать многовихревое магнитогидродинамическое, которое основывается на введении в суспензию ферромагнитных элементов под воздействием постоянного магнитного поля, можно значительно интенсифицировать сорбцию ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} дрожжами. Интенсификация процесса сорбции ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} дрожжами осуществляется за счет образующихся потоков суспензии вокруг ферромагнитных элементов под воздействием постоянного магнитного поля.

Экспериментальными исследованиями установлено влияние постоянного магнитного поля, характеристик ферромагнитных элементов на перемешивание суспензии дрожжей.

Установлено, что чем больше величина напряженности постоянного магнитного поля, тем больше скорость потоков суспензии вокруг ферромагнитных элементов. Сорбционная способность дрожжей при разной величине напряженности поля в пределах 160 – 320 кА/м отличается незначительно.

Зависимость скорости потоков вокруг ферромагнитных элементов от pH раствора показала, что чем ниже pH тем интенсивнее скорость потоков.

Оптимальные условия для прохождения многовихревого магнитогидродинамического перемешивания суспензии дрожжей следующие: pH 2 – 4, величина напряженности постоянного магнитного поля 80 – 320 кА/м, размещать ферромагнитные элементы необходимо параллельно направлению магнитного поля на расстоянии трех диаметров этого элемента. Кроме того, показаны преимущества углеродистой стали среди разных материалов для изготовления ферромагнитных элементов.

Показано, что постоянное магнитное поле в процессе многовихревого магнитогидродинамического перемешивания дрожжей ускоряет растворение ферромагнитных элементов в водных суспензиях. Анализ корреляции показал, что скорость растворения элемента коррелирует со скоростью потоков суспензии вокруг этого элемента. Используя зависимость скорости растворения ферромагнитных элементов от параметров постоянного магнитного поля и характеристик элементов можно определить количество растворенного железа в процессе перемешивания суспензии дрожжей. Эти данные используются нами в процессе доочистки сточной воды от ионов тяжелых металлов.

Определены оптимальные условия проведения процесса биосорбции ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} из водной суспензии с использованием многовихревого магнитогидродинамического перемешивания – величина напряженности постоянного магнитного поля – 240 кА/м, для ионов Cu^{2+} – pH 4, продолжительность процесса 12 – 15 мин., степень очистки около 80 %, для ионов Cr^{6+} – pH 2, продолжительность процесса 1 – 3 мин., степень очистки около 100 %.

Показано, что сорбционная активность дрожжей под влиянием постоянного магнитного поля и ферромагнитных элементов присуща как живым, так и

неживым клеткам, но живая культура дрожжей за первые 10 минут сорбирует ионы Cu^{2+} на 15 % больше неживой.

Впервые установлено влияние комбинированного действия постоянного магнитного поля и ферромагнитных элементов на выживание дрожжей. Выяснено, что за время сорбции ионов Cu^{2+} в течение первых 10 мин. выживание дрожжей составляет около 73 %.

В работе разработан новый комбинированный способ доочистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов дрожжами с использованием процесса ферритизации, в процессе которого получаем товарный продукт – магнетит в виде микрочастичек, ферритизированный активированный уголь с вкрапленными медью и хромом, а также очищенную сточную воду.

Разработаны принципиальная и аппаратурно-технологическая схемы очистки сточной воды от ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} .

По результатам работы были проведены промышленные испытания очистки вод гальванического цеха завода по изготовлению интегральных микросхем «Гравитон» от ионов Cu^{2+} и Cr^{6+} .

Ожидаемый экономический эффект от внедрения новой комбинированной технологии составляет около 60 тыс. грн./год.

Ключевые слова: дрожжи, сорбция, многовихревое магнитогидродинамическое перемешивание, магнитное поле, ферромагнитные элементы.

ANNOTATION

Goyko I.Yu. Intensification of copper and chrome ions sorption by yeast of *Saccharomyces cerevisiae* in the magnetic field. – Manuscript.

The thesis for obtaining scientific degree of Candidate of the Technical Sciences by specialty 03.00.20 – biotechnology (technical sciences). – National University of Food Technologies, Kiev, 2008.

The work is devoted to development of effective method of waste water purification from Cu^{2+} and Cr^{6+} ions by yeasts of *Saccharomyces cerevisiae* and permanent magnetic field.

It is found, that multivortex magnetohydrodynamic stirring, which arises during inclusion of ferromagnetic elements to suspension by influence of the permanent magnetic field, considerably intensifies sorption of ions of Cu^{2+} and Cr^{6+} yeasts. The influence of the permanent magnetic field as well as characteristics of ferromagnetic elements on stirring of suspension of yeasts have been determined. The optimal conditions of process of Cu^{2+} and Cr^{6+} ions biosorption from suspension were determined applying multivortex magnetohydrodynamic stirring. There are following conditions of permanent magnetic field strength 240 kA/m, for Cu^{2+} ions: pH 4, duration of contact 12 – 15 min., purification rate is about 80 %, for Cr^{6+} ions: pH 2, duration of contact 1 – 3 min., purification rate is about 100 %

The industrial testing of purification of water of galvanic department from Cu^{2+} and Cr^{6+} ions was carried out as result of the work.

Keywords: yeasts, copper, multivortex magnetohydrodynamic stirring, mag-

netic field, ferromagnetic elements.