

## РОЗДІЛ «ХІМІЯ. БІОТЕХНОЛОГІЇ»

УДК 628.387

НЕСТЕР А.А., к.т.н., доцент

Хмельницький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ

**Вступ.** Проблема утилізації відходів промислового і побутового походження набуває в даний час усе більш гострого характеру у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їх переробки незрівнянно малі. В результаті до теперішнього часу накопичено сотні мільйонів тонн різних твердих відходів, які необхідно переробляти і знешкоджувати, в тому числі і веденням електролізу. Масштаби щорічного продукування і накопичення твердих відходів вимагають створення потужних установок, які переробляють, продуктивністю, вимірюваною мільйонами тонн в рік, з їх промисловим освоєнням. Основним джерелом забруднень навколишнього середовища іонами важких металів є багатокомпонентні стічні води гальванічного виробництва від операцій промивок та основних технологічних операцій, а тому створення та відпрацювання технологій для видалення металів є важливою задачею проектування надійного обладнання [1].

**Постановка задачі.** Аналіз патентної та технічної літератури показав, що вирішенням проблеми відпрацьованих розчинів є перехід на виробничий процес на базі замкнутого циклу у єдиній технологічній операції. Разом з тим стічні води підприємств належним чином не досліджені, не розроблені надійні конструкції та технології, котрі могли б забезпечити спеціальну обробку з метою видалення важких металів та забезпечити автоматизовану технологію повторного використання стічних вод конкретного виробництва [2].

В процесі відновлення водних розчинів чи видалення металів важливе значення представляє вибір електродів, які повинні забезпечити процес та зручність у роботі з ними.

**Результати роботи.** Проведені дослідження дали можливість виконати певні узагальнення. У табл.1 наведено залежності витрати електродів від щільності струму в ціаністому розчині, що містить кадмій. У вказаних розчинах в діапазоні щільності струму 100-1500А/м<sup>2</sup> сталіні нержавіючі електроди усіх видів досить інтенсивно розчинялися. Осад (гідроксид заліза), що утворюється на електродах, був присутнім у всьому об'ємі розчину.

Витрата анодів збільшувалася зі збільшенням щільності струму і спостерігалася великою у електродів, виготовлених з нержавіючої сталіної сітки рідкого плетіння (табл.1).

**Висновок:** використання пластин з нержавіючої сталі в якості малозношуваних анодів для процесу видалення металів з промивних ціаністих розчинів в циркуляційному режимі без розмежування катодного і анодного просторів не рекомендується, оскільки вони розчиняються з утворенням гідроксиду заліза, що призводить до забруднення розчину і до забивання вуглецевого катода.

З наведених в табл.2 результатів видно, що зі зменшенням анодної щільності струму значно знижується розчинення плоских анодів з нержавіючої сталі, тому була вивчена поведінка пластинчатих анодів, у яких реальна поверхня більша від габаритної. Аналогічні дослідження, зроблені раніше на окисно-рутенієво-титанових анодах (ОРТА), показали перспективність такого роду анодів.

При порівнянні величин витрат плоского сталюого нержавіючого електрода і пластинчатого, отриманих в розчині, видно, що при рівній габаритній щільності струму фактична витрата пластинчатого електрода менша, ніж плоского. Але слід зазначити, що вже при щільності струму  $250 \text{ A/m}^2$  на торцях пластинчатого електрода утворився гідроксид заліза. Слід зазначити, що час, за який відбувається розчинення половини ваги пластинчатого електрода, значно зростає в порівнянні з часом розчинення плоских електродів.

Таблиця 1 – Залежність витрати електродів з нержавіючої сталі I2X18HT від щільності струму

Щільність струму, $\text{A/m}^2$	Промивний розчин після операції кадміювання в ціаністому електроліті					
	Пластина		Решітка густого плетіння		Решітка рідкого плетіння	
	Витрата, $\text{кг/м}^2$ доба	50%, доба	Витрата, $\text{кг/м}^2$ доба	50%, доба	Витрата, $\text{кг/м}^2$ доба	50%, доба
100	0,1344	-	0,1584	-	0,1704	-
250	0,1235	46,3	0,1815	15,7	0,3285	2,3
500	1,013	5,5	1,536	1,7	2,212	0,3
750	1,344	4,3	1,584	1,8	1,704	0,4
1000	1,8	3,2	5,136	0,6	3,456	0,2
1500	2,226	2,6	1,713	1,7	3,796	0,2

У багатьох електрохімічних процесах видалення металів на вуглецево-волокнисті електроди (ВВЕ) за технологією потрібно розділення катодного і анодного просторів іонообмінною мембраною. У разі, коли католіт має  $\text{pH} \leq 7$ , в якості аноліту можна використати розчин сірчаної кислоти або суміш сірчаної кислоти і натрію сірчано-кислого. При цьому в якості анодів можна використати свинцеві пластини. У проведених дослідженнях використовувався аноліт складу 10% натрій сірчано-кислий і 5% сірчана кислота.

Таблиця 2 – Залежність витрати пластинчатого анода з нержавіючої сталі 12X18HT від щільності струму

Щільність струму, $\text{A/m}^2$		Витрата, $\text{кг/м}^2$ доба	Час розчинення 50% маси, доба
Габаритна	Фактична		
250	47	0.0023	2377
500	96	0.012	475.5
750	138	0.021	261.5

Дослідження дали можливість визначити витрати свинцевих анодів від щільності струму, які проводились в наступних умовах:

а) католіт – промивний розчин цитратно-фосфатного електроліту, мембрани МЖ-40.

Свинцеві аноди пропрацювали в сірчано-кислому розчині ~90 годин. Витрата

анодів  $0,013-0,25 \times 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup> доба. В процесі електролізу аноди покриваються плівкою коричневого кольору, що представляє собою двоокис свинцю. Розчин впродовж усіх експериментів залишався прозорим;

б) католіт має рН більше 7. В основному це промивні розчини ціаністих електролітів.

В цьому випадку як аноліт використовується лужний розчин або натрій сірчано-кислий. В обох випадках з ходом часу відбувається підкислення аноліту. Внаслідок цього оцінювалася можливість використання свинцевих анодів для процесів електролітичного видалення кадмію з ціаністого розчину при розділенні електродних просторів іонообмінною мембраною і використання як аноліту розчину натрію сірчано-кислого і сірчаної кислоти.

Експерименти проводилися на наступних розчинах: промивний розчин після операцій кадміювання з ціаністого електроліту; промивний роданистий розчин електроліту сріблення – католіти; аноліт – 10% натрій сірчано-кислий і 5% сірчана кислота, анод – свинець. В цих експериментах стежили також за поведінкою мембран з точки зору можливості утворення на їх поверхні осаду;

в) при використанні в якості католіту промивного ціаністого розчину (електроліта кадміювання) утворення осаду на мембранах не спостерігалось.

Впродовж усього експерименту в католіт через кожну годину добавлявся концентрований по металу розчин. У перший момент часу на поверхні розчину плавав осад, через 20-30 хвилин осад розчинявся.

У анодному просторі розчин аноліту залишався прозорим, на свинці утворилася плівка двоокису свинцю, який частково обсіпався в розчин. Витрата анодів в інтервалі щільності струму  $330-1000$  А/м<sup>2</sup> –  $0,0972-0,2954$  кг/м<sup>2</sup> доба.

Вивчена поведінка електродів зі свинцевих пластин в промивному сірчано-кислому електроліті кадміювання без розділення катодного і анодного просторів. Свинцеві електроди покривалися темно-рудим нальотом (у діапазоні щільності струмів  $250-1000$  А/м<sup>2</sup>). У розчині виявлено осад, розчин прозорий, витрата анодів у вказаному вище діапазоні –  $0,47-1,04$  кг/м<sup>2</sup> доба. Вага свинцевих електродів зростала за рахунок утворення на поверхні оксидів (PbO<sub>2</sub>).

В результаті проведених досліджень та на основі отриманих результатів розроблено електролізер, призначений для видалення металів з розбавлених розчинів. Відмінною особливістю електролізера від існуючих є використання в якості катодного матеріалу волокнистих вуглецевих матеріалів. Виконані розрахунки та дослідження показали, що для забезпечення вищезгаданих умов і використання як електродного матеріалу вуглецево-волокнистих електродних матеріалів ВВП-66-95 необхідно електролізер, оснащений як мінімум однією стандартною промисловою катодною камерою, в якій у якості катодів використовуються вказані вуглецеві матеріали. З урахуванням можливих змін, пов'язаних з коливаннями концентрації важких металів у ванні-уловлювачі, і необхідного запасу по продуктивності була розроблена конструкція електролізера на дві катодні і три анодні камери. В такому разі електролізер повинен складатися з корпусу, в якому вставлені поперемінно три анодні і дві катодні камери. Положення електродних камер в корпусі електролізера визначається конструктивними елементами.

Аноліт і католіт (промивний розчин) подаються окремо через розподільники у відповідні робочі камери і зливаються також окремо через колектори.

Корпус електролізера, струмопровідні облаштування (шини, струмопідводи камер), деталі катодних і анодних камер виготовляються з титану і кислотоупорядливої гуми.

Анодна камера являє собою рамку з титану, гумованого резиною, до якої з обох сторін за допомогою титанових накладок і гвинтів притиснута іонообмінна мембрана.

У верхній частині рамки вставляється анод-платинована титанова сітка. Конструкція анодної камери дозволяє легко замінювати мембрани, що вийшли з ладу. Для відділення анодного простору використовується іонообмінна мембрана МК-40-2С.

Живлення розчином анодних камер здійснюється з анолітної посудини через колектор, розташований в кишені електролізера. Підключення анодних камер до колектора здійснюється за допомогою гумових шлангів. Встановлення анодних камер і заміна, якщо вийшли з ладу, виконується в електролізері, з якого видалено розчин.

Конструкція катодної камери розрахована на використання в якості катода волокнистого вуглецевого матеріалу. Катодна камера складається з титанового корпусу, покритого гумою по периферії, з двома перфорованими струмопровідними стінками, на які із зовнішніх сторін укладається вуглецевий матеріал, що фіксується вінілпластовими сітками і закріплюється ґратчастими струмопровідними притискачами. Притискачі з'єднуються з корпусом камери за допомогою шарнірів, прикріплених до ручки камери, і закріплюються затискачами.

Живлення катодних камер розчином здійснюється через розподільник, розташований в дні електролізера, та патрубок з фланцем для підведення промивного розчину з ванн-уловлювача. При встановленні катодної камери в корпус електролізера штуцер для підведення розчину має автоматично входити у вихідне гніздо розподільника, що виступає в робочий простір апарату.

#### **Висновки.**

1. Показана можливість використання свинцевих електродів в якості анодів в розчині 10% натрію сірчаноокислого і 5% сірчаної кислоти при веденні основного технологічного процесу з розділенням катодного і анодного просторів.

2. Встановлена можливість використання свинцевих електродів в якості анодів в сірчаноокислому натрієвому розчині при проведенні електролізу з розділенням катодного і анодного просторів, при цьому католіт є ціаністим розчином. В даному випадку на мембранах осаду не спостерігалось, але для повнішої інформації про поведінку мембран потрібне проведення додаткових досліджень в тих умовах, що відповідають реальному процесу видалення металів з промивних ціаністих розчинів різних електролітів при розділенні катодного і анодного просторів іонообмінною мембраною та використанні як аноліту кислого розчину сірчаноокислого натрію або розчину сірчаної кислоти.

3. Проведені дослідження показали можливість використання свинцевих електродів в якості анодів в промивному сірчаноокислому розчині електроліту кадміювання. Для запобігання осипання свинцю в розчин аноди слід поміщати в чохлах.

4. Досліджувалася поведінка і витратні норми нержавіючих сталевих електродів із пластин, сіток щільного і рідкого плетіння, пластинчатих електродів, свинцевих електродів в промивних розчинах гальванічних виробництв.

5. Аноди з нержавіючих сталевих пластин і сіток інтенсивно розчиняються в промивних ціаністих розчинах електроліту кадміювання. Витрата електродів з сіток більша, ніж електродів з пластин.

6. Можливе використання свинцевих електродів як анодів (у чохлах) в промивному сірчаноокислому розчині електроліту кадміювання.

7. Досліджено закономірності осаду кадмію з ціаністих розчинів на ВВЕ від умов електролізу, властивостей системи розчин-електрод, що дозволило розробити процес регенерації кадмію з відповідних промивних розчинів з поверненням кадмію у ванну гальванопокриття.

8. Розроблені процеси забезпечують уловлювання кадмію більш ніж на 99,9% з ванн уловлювання, повернення кадмію в процес, часткове окислення ціанідів на аноді.

9. Досліджено поведінку відмінності анодних матеріалів стосовно розроблених процесів; при розділенні електродних просторів мембранами рекомендується викорис-

товувати аноди з платинованого титану або свинцю (анодит – сірчаноокислий розчин), без розділення електродних просторів рекомендується платинований титан.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Рогов В.М. Электрохимическая технология изменения свойств воды / Рогов В.М., Філіпчук В.Л. – Львов: Вища школа, 1989. – 128с.
2. Виговська Т.В. Відходи як фактори екологічної небезпеки / Т.В.Виговська // Вісник ТУП. – Хмельницький. – 2002. – № 4, ч. 3. – С.153-158.

Надійшла до редколегії 06.04.2012.

УДК 604.4:664

ФІЛІМОНЕНКО О.Ю., ст. викладач  
ГУЛЯЄВ В.М., д.т.н, професор  
ФІЛІМОНЕНКО Д.В., ст. викладач  
ДМИТРИЄНКО В.Ф., зав. лабораторії  
ЛЮБИЧ Ю.Ю., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПОЮ НА ОСНОВІ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З ДОДАВАННЯМ ЗАКВАСОЧНОЇ КУЛЬТУРИ *LACTOBACILLUS ACIDOPHILLUS*

**Вступ.** У зв'язку з досить невисоким рівнем екологічної безпеки та відносно низькою купівельною спроможністю населення в нашій країні проблема доступності якісної харчової продукції є дуже важливою. В такій ситуації повноцінне й здорове харчування являється однією з найбільш вагомих умов, необхідних для збереження активного образу життя й здоров'я людини в будь-якому віці.

В останні роки в Україні стрімко розвивається наука про здорове харчування, особливо її новий напрямок – функціональне харчування, тобто використання у раціоні людини таких продуктів природного походження, основні інгредієнти яких при систематичному вживанні здійснюють регулюючу дію на організм людини або ті чи інші його органи й системи. Прикладом подібних біологічно цінних продуктів є пробіотичні кисломолочні вироби, зокрема на основі молочної сироватки. Останні вигідно відрізняються своєю доступністю [1].

Направлена біоенергетична дія на молоко як складну полідисперсну систему призводить до її розділення на білково-жировий концентрат (сир, твердий сир, казеїн) і фільтрат (молочну сироватку). В сироватці залишається близько 50% сухих речовин молока [2]. Через невисоку концентрацію цих речовин (6,4-7,0%) сироватку часто розглядають не як побічний продукт, а як відходи виробництва, хоча її кількість досягає 90% від об'єму молока, що переробляється на білково-жирові концентрати.

Молочна сироватка багата цінними білками і в той же час практично не містить жирів, завдяки чому може використовуватися як ефективний натуральний засіб для схуднення й основа різних дієт. В ній міститься калій, кальцій, магній, фосфор, а також багато вітамінів. Але через невисоку ринкову вартість, поживні властивості та біологічна цінність молочної сироватки недостатньо ціняться серед виробників молочної продукції і значна її частина зливається у каналізацію. Тому необхідність повної переробки молочної сироватки і зниження її втрат обумовлена не тільки економічною доцільністю, але й необхідністю охорони навколишнього середовища.

У цих умовах випуск напоїв на основі молочної сироватки дозволить отримати

відносно недорогий продукт високої біологічної цінності.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є дослідження технології виробництва кисломолочного напою на основі молочної сироватки з підвищеною біологічною цінністю за рахунок додавання пробіотичної добавки. В якості пробіотичної добавки виступає бактеріальна культура *Lactobacillus acidophilus*.

Визначали біологічну активність заквасочної культури *Lactobacillus acidophilus* та кислотність продукту в процесі заквашування сироватки при температурах (+34), (+36), (+38), (+40) та (+42)°С.

Біологічну активність *Lactobacillus acidophilus* визначали шляхом підрахунку колоній, що вирости на селективному поживному середовищі чашковим методом Коха [3]. Підрахунок колоній проводили через кожні 2 години протягом 8 годин. Кислотність молочної сироватки, заквашеної культурою *Lactobacillus acidophilus*, в процесі заквашування при температурах (+34), (+36), (+38), (+40) та (+42)°С через кожні 2 години протягом 8 годин визначали за ГОСТ 3624-92.

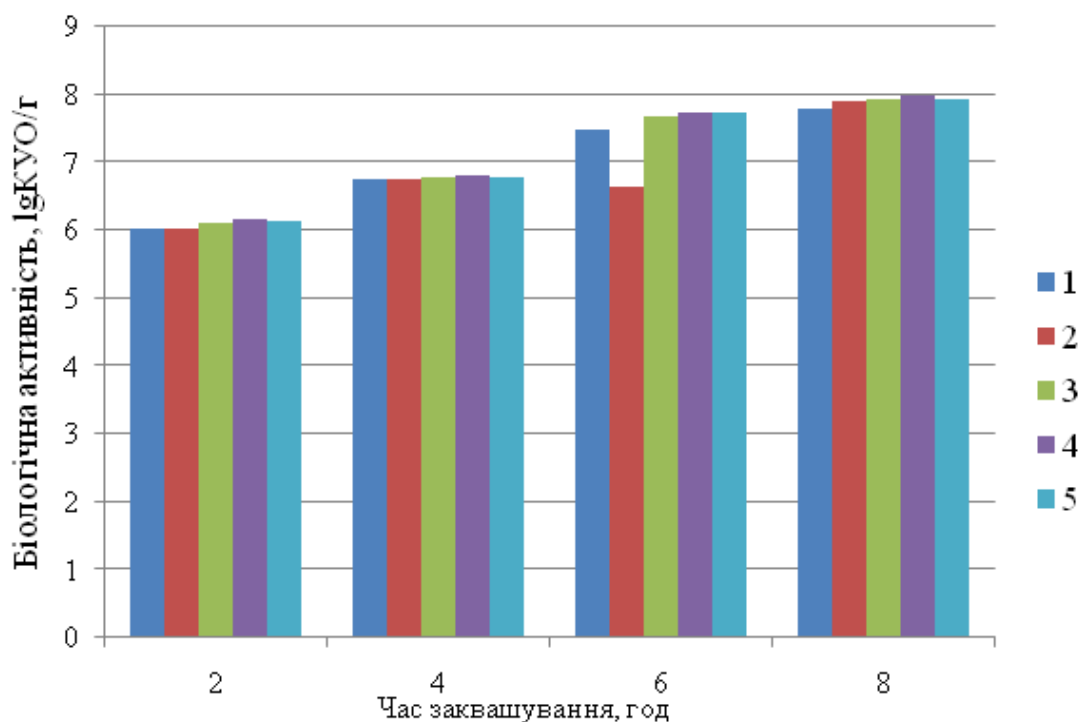
**Результати роботи.** Отримано дані по біологічній активності молочної сироватки, заквашеної культурою *Lactobacillus acidophilus*, в процесі заквашування при різних температурах (табл.1).

Таблиця 1 – Біологічна активність молочної сироватки, заквашеної культурою *Lactobacillus acidophilus*, в процесі заквашування при різних температурах

Температура, °С	Час заквашування, год	Біологічна активність заквашеної молочної сироватки культурою <i>Lactobacillus acidophilus</i>	
		КУО/г	lg КУО/г
34	2	$1,1 \cdot 10^6 \pm 0,013$	6,04
	4	$5,8 \cdot 10^6 \pm 0,068$	6,76
	6	$3,1 \cdot 10^7 \pm 0,27$	7,49
	8	$7,2 \cdot 10^7 \pm 0,63$	7,80
36	2	$1,1 \cdot 10^6 \pm 0,013$	6,04
	4	$5,7 \cdot 10^6 \pm 0,067$	6,75
	6	$4,5 \cdot 10^7 \pm 0,27$	7,65
	8	$8,0 \cdot 10^7 \pm 0,7$	7,9
38	2	$1,3 \cdot 10^6 \pm 0,015$	6,11
	4	$6,3 \cdot 10^6 \pm 0,074$	6,79
	6	$4,7 \cdot 10^7 \pm 0,41$	7,67
	8	$8,6 \cdot 10^7 \pm 0,75$	7,93
40	2	$1,5 \cdot 10^6 \pm 0,017$	6,17
	4	$6,6 \cdot 10^6 \pm 0,078$	6,81
	6	$5,7 \cdot 10^7 \pm 0,49$	7,75
	8	$9,9 \cdot 10^7 \pm 0,86$	7,99
42	2	$1,4 \cdot 10^6 \pm 0,016$	6,14
	4	$6,2 \cdot 10^6 \pm 0,073$	6,79
	6	$5,5 \cdot 10^7 \pm 0,48$	7,74
	8	$8,9 \cdot 10^7 \pm 0,77$	7,94

З представлених в табл.1 результатів дослідження отримано діаграму залежності біологічної активності молочної сироватки, заквашеної культурою *Lactobacillus acidophilus* (lg КУО/г), в залежності від температури заквашування (рис.1).

З діаграми, зображеної на рис.1, видно, що найбільш ефективний час заквашування молочної сироватки культурою *Lactobacillus acidophilus* становить 8 годин при температурі 40°C, оскільки біологічна активність культури за цей час досягає не менше  $7 \cdot 10^7$  КУО/г.



температура, °C: 1 – +34; 2 – +36; 3 – +38; 4 – +40; 5 – +42

Рисунок 1 – Біологічна активність молочної сироватки, заквашеної культурою *Lactobacillus acidophilus* (lg КУО/г), в залежності від температури заквашування

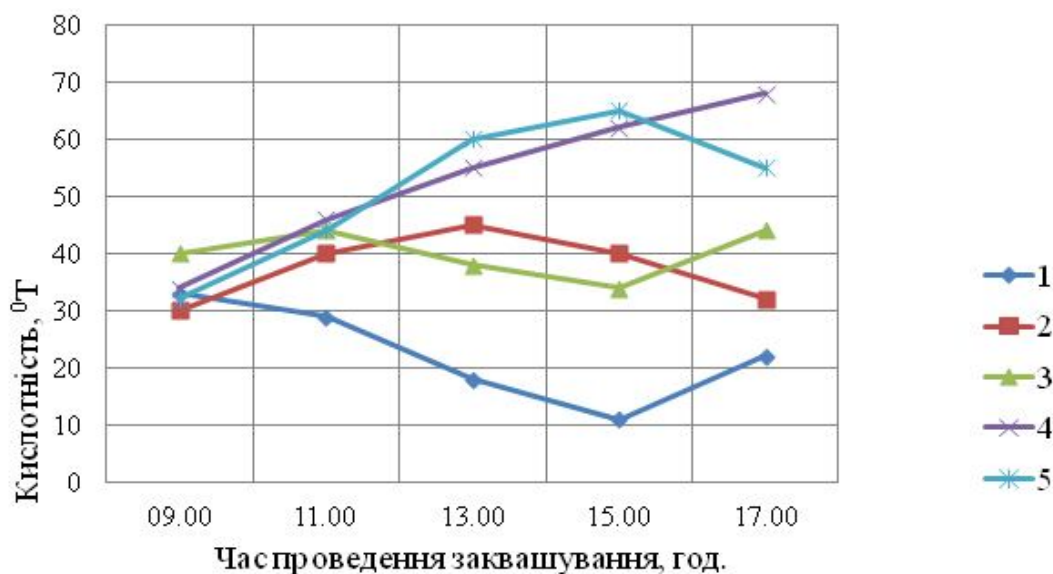
Значення кислотності молочної сироватки в процесі заквашування культурою *Lactobacillus acidophilus* при різних температурах представлені в табл.2. Вихідна кислотність сироватки становить 33°Т.

Таблиця 2 – Кислотність молочної сироватки в процесі заквашування культурою *Lactobacillus acidophilus* при різних температурах

Час проведення заквашування, год	Температура проведення заквашування молочної сироватки культурою <i>Lactobacillus acidophilus</i> , °C			
	Кислотність при заданій температурі протягом певного часу, °Т			
	34°C	38°C	38°C	40°C
09.00	33±1	30±2	40±1	34±1
11.00	29±2	40±1	44±2	46±1
13.00	18±2	45±1	38±2	55±2
15.00	11±2	40±2	34±2	64±2
17.00	22±1	32±2	44±2	70±2

За даними табл.2 будуємо графіки залежності кислотності напою на основі мо-

лочної сироватки від температури заквашування культурою *Lactobacillus acidophilus* (рис.2).



температура, °С: 1 – +34; 2 – +36; 3 – +38; 4 – +40; 5 – +42

Рисунок 2 – Залежність кислотності напою на основі молочної сироватки від температури заквашування культурою *Lactobacillus acidophilus*

З рис.2 видно, що найбільш оптимальна температура заквашування молочної сироватки культурою *Lactobacillus acidophilus* становить +40°C (зразок 4). На графіку видно, що крива рівномірно зростає без перепадів, чого не можна сказати про криві при інших температурах (зразок 1 (+34)°С, зразок 2 (+36)°С, зразок 3 (+38)°С та зразок 5 (+42)°С).

**Висновки.** 1. Розглянуто можливість використання молочної сироватки – відходу переробки молока – з метою виробництва молочнокислого напою з підвищеною біологічною цінністю.

2. Досліджено динаміку сквашування сироватки культурою *Lactobacillus acidophilus* і вплив температури на ферментацію.

3. Рекомендовано для одержання напою на основі молочної сироватки проводити її заквашування пробіотичною культурою *Lactobacillus acidophilus* протягом 8 годин при температурі (+40)°С.

4. Одержані дані доцільно рекомендувати для впровадження у виробництво для максимізації рівня переробки молочної сировини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. В.И.Ганина В.И. Действие пробиотических продуктов на возбудителей кишечных инфекций / В.И.Ганина, Е.В.Большакова // Молочная промышленность. – 2001. – №11. – С.47-48.
2. Переработка и использование молочной сыворотки: технологическая тетрадь / [А.Г.Храмцов, В.А.Павлов, П.Г.Нестеренко и др.]. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 271с.: ил.
3. Сакович Г.С. Физиология и количественный учет микроорганизмов [Электронный ресурс]: учебное издание / Г.С.Сакович, М.А.Безматерных. – Екатеринбург, 2005. – 40с.

Надійшла до редколегії 30.05.2012.



Днепродзержинский государственный технический университет

## **БИОКОНВЕРСИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РАПСОВОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАКТЕРИЙ РОДОВ *LACTOBACILLUS* И *BIFIDUMBACTERIUM***

**Введение.** Ограниченность запасов ископаемого топлива, зависимость многих стран от импорта энергетических запасов активизируют поиск новых более доступных видов топливно-энергетического сырья. Неисчерпаемым источником такого сырья является растительная биомасса, две трети которой составляет целлюлоза. В последнее десятилетие значительно возрос интерес к получению биотоплива (этанол) из растительной биомассы с помощью микроорганизмов. Появилось большое число публикаций технологического и экономического характера, в которых этиловый спирт рассматривается как горючее будущего.

Этанол, получаемый из растительной биомассы (биоэтанол), может внести существенный вклад в восполнение энергетических ресурсов. Для получения этанола используется недефицитное сырье, в том числе целлюлозосодержащие отходы. Кроме того, биоконверсия растительной биомассы в этанол энергетически более выгодна, чем ее конверсия в микробную (белок) биомассу.

Таким образом, этиловый спирт можно рассматривать не только как горючее будущего, но и как перспективное сырье для различных отраслей микробиологической промышленности, развитие которой увеличит потребность в этиловом спирте [1].

Рапсовое масло занимает третье место в мировом производстве после соевого и хлопкового масел. Его получают экстракцией или прессованием с последующей переработкой. Масло из семян обычных сортов рапса продолжает пользоваться спросом промышленного химического, металлургического, кожевенного, мыловаренного, текстильного, красильного и прочих производств. Широко используется в машиностроении. С каждым годом все популярнее становится экологически чистый вид биологического топлива на основе рапсового масла [2].

С каждым годом наращивается выращивание рапса на получение масла, а соответственно и увеличиваются отходы, а именно шрот после выдавливания масла и солома [3, 4].

**Постановка задачи.** Цель проведения эксперимента заключается в исследовании биоконверсии отходов производства рапсового масла в этанол и определении влияния ферментов комплекса амилаз на выход этанола из исследуемых субстратов. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- подготовка образцов субстрата, которые являются отходами;
- самостоятельное выделение комплекса ферментов амилаз;
- формирование симбиоза молочнокислых бактерий с целью стимуляции биоконверсии;
- определение условий биодegradации с учетом особенностей использования биокатализаторов и посевного материала.

**Результаты работы.** В качестве исследуемого субстрата взяты рапсовый шрот (ГОСТ 11048-95) и рапсовая солома.

На первой стадии процесса культивирования исследуемые субстраты обогащали посевным материалом молочнокислых бактерий с целью ускорения процесса (табл.1).

Таблица 1 – Характеристика посевного материала и субстратов

Образец	Субстрат	Посевной материал
1	Рапсовый шрот	Состав № 1: <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Cremoris</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> var. <i>Diacetylactis</i> .
2	Рапсовый шрот	Состав № 2: <i>Bifidumbacterium bifidum</i> , <i>Bifidumbacterium infantis</i> , <i>Bifidumbacterium longum</i> , <i>Bifidumbacterium breve</i> , <i>Bifidumbacterium adolescentis</i> .
3	Рапсовая солома	Состав № 1: <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Cremoris</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>Lactis</i> var. <i>Diacetylactis</i> .
4	Рапсовая солома	Состав № 2: <i>Bifidumbacterium bifidum</i> , <i>Bifidumbacterium infantis</i> , <i>Bifidumbacterium longum</i> , <i>Bifidumbacterium breve</i> , <i>Bifidumbacterium adolescentis</i> .

В качестве посевного материала (состав № 1) использован симбиоз: *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* var. *Diacetylactis*.

Посевной материал (состав № 2): *Bifidumbacterium bifidum*, *Bifidumbacterium infantis*, *Bifidumbacterium longum*, *Bifidumbacterium breve*, *Bifidumbacterium adolescentis*.

Условия культивирования: питательная среда для выращивания посевного материала – пастеризованное молоко; температура культивирования – 38°C; время культивирования – 8 часов в анаэробных условиях.

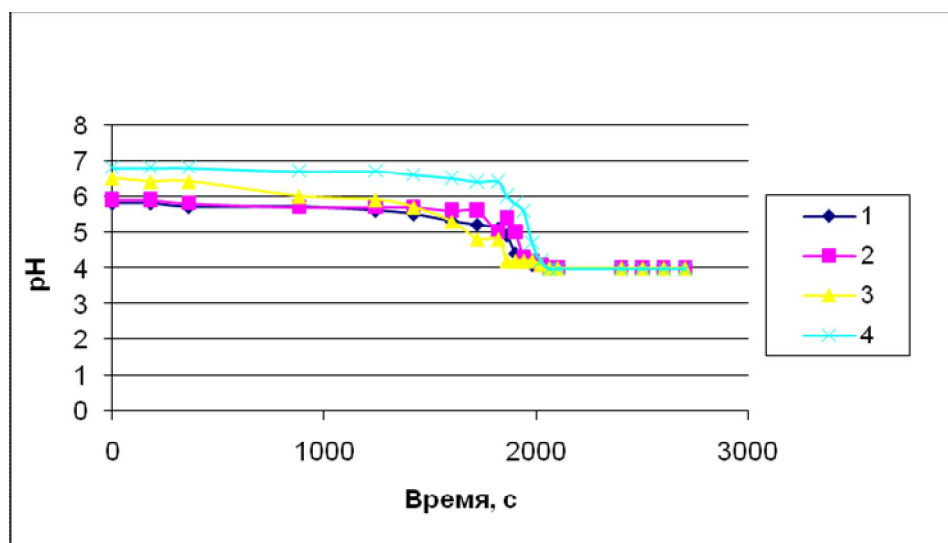
Условия обогащения посевным материалом исследуемого субстрата: к навеске взятого субстрата (рапсовый шрот массой 1 кг, разведенный в 2дм<sup>3</sup> дистиллированной воды) внесли 5% посевного материала (состав № 1, 2); к навеске соломы рапса (рапсовая солома массой 1 кг, разведенная в 2дм<sup>3</sup> дистиллированной воды) внесли 5% посевного материала (состав № 1, 2). В результате получено 4 исследуемых образца (табл.1), которые подлежат культивированию при температуре 25°C в течение 43 часов при достижении концентрации водородных ионов 4,0.

Процесс протекает без доступа кислорода. Оптимальное протекание процесса установили и оценили по результатам изменения концентрации водородных ионов. Изменение концентрации водородных ионов свидетельствует о жизненном цикле развития молочнокислых бактерий.

Установленное значение рН = 4,0 свидетельствует о стационарной фазе роста продуцентов. В процессе культивации зафиксировано выделение газа в образцах 1 и 2, что свидетельствует о нормальном протекании анаэробных условий культивирования и обеспечения анаэробного процесса сбраживания.

По достижении концентрации водородных ионов 4,0 процесс культивирования прекращен. Зависимость значений концентрации водородных ионов от времени прове-

денія експеримента представлена на рис.1. Полученные образцы пастеризованы при температуре 75°C на протяжении 30 мин.



1 – залежність для образця 1; 2 – залежність для образця 2;  
3 – залежність для образця 3; 4 – залежність для образця 4

Рисунок 1 – Залежність змінення концентрації водородних іонів від часу проведення експеримента

Из результатов, представленных на рис.1, видно, что с момента проведения эксперимента значение рН 6,8 с условий нейтральной среды изменилось под воздействием симбиоза молочнокислых бактерий в сторону кислой среды – рН 4,0, которое было стабилизировано во временных пределах проведения эксперимента от 2000 до 3000 секунд. На основании достигнутых результатов стабилизации значения рН принято решение о прерывании дальнейшего культивирования молочнокислых бактерий.

На втором этапе исследований с целью активации процесса брожения в образцы внесен посевной материал, представленный дрожжами рода *Saccharomyces cerevisiae* – состав № 3 и иммобилизованные ферменты (комплекс амилаз) – состав № 4. С целью получения сравнительной характеристики в 1 и 3 образцы были внесены составы № 3 и 4, а в образцы 2 и 4 – исключительно состав № 3.

Условия получения посевного материала (состав № 3): в ёмкость объёмом 0,5 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды, содержащей 4 г глюкозы, внесено 10 г культуры *Saccharomyces cerevisiae* при перемешивании; термостатирование процесса проводили при температуре 33°C на протяжении 4 часов.

По завершении наблюдения установлено интенсивное пенообразование на поверхности жидкости, которое объясняется интенсивным ростом дрожжей и выделением углекислого газа.

Получение иммобилизованного состава № 4: в ёмкость объёмом 3 дм<sup>3</sup> солода, полученного из пшена [2, 5] с целью выделения комплекса амилаз, при интенсивном перемешивании до полного растворения поместили носитель для иммобилизации ферментов на 48 часов. В качестве носителя для иммобилизации комплекса ферментов амилазы использовали полисинтетический материал флизелин, который обладает водоустойчивыми характеристиками и микропористостью структуры, усиливающей иммобилизацию ферментов [6]. По окончании процесса иммобилизации фермент адсорбиру-

ется на носители [3], в результате чего получен готовый иммобилизованный ферментный препарат амилаз.

В каждый образец (№ 1 - 4), подлежащий пастеризации и охлаждению до температуры 33°C, внесен посевной материал (состав № 3) в условиях интенсивного перемешивания, лишь в образцы № 1 и 3 также внесен состав № 4 с целью повышения эффективности процесса. Термостатировали образцы при температуре 33°C на протяжении 96 часов. Окончание процесса брожения оценивали по прекращению выделения газа.

Следующим этапом проведения эксперимента является процесс дистилляции раствора в условиях нагревания полученного фильтрата. Из исследуемых образцов получено 1л дистиллята. Полученный дистиллят подлежит ректификации при температуре 78°C, в результате чего получен этиловый спирт плотностью 793 кг/м<sup>3</sup> (табл.2). По окончании процесса дистилляции образовавшиеся отходы подлежат инактивации. В результате обработки полученных данных эксперимента установлено практический выход этанола из взятой навески субстратов (рапсовый шрот и рапсовая солома) массой 1 кг (табл.2).

Таблица 2 – Выход этанола из навески субстратов (массой 1 кг)

Субстрат	Выход этанола при участии симбиоза молочнокислых бактерий в среде без ферментов, г	Выход этанола при участии симбиоза молочнокислых бактерий и ферментов, г	Выход этанола без участия молочнокислых бактерий, г
Рапсовый шрот	15,62	17,3	9,52
Рапсовая солома	2,55	3,26	1,86

Как видно из табл.2, использование ферментов увеличивает выход этанола на 10,76% из рапсового шрота и 27,8% из рапсовой соломы, что дает возможность оценить проведенный процесс как экономически целесообразный и эффективный с технологической точки зрения. Полученные результаты исследований свидетельствуют о возможности использования указанной технологии наряду с получением рапсового масла для переработки его на биодизель с целью получения ценного коммерческого продукта.

Применение сложного состава посевного материала – молочнокислых бактерий и дрожжей – обеспечивает более высокий выход этанола из исследуемых субстратов по сравнению с использованием исключительно посевного материала из *Saccharomyces cerevisiae*. Как свидетельствуют данные, приведенные в табл.2, использование молочнокислых бактерий значительно увеличивают выход этанола из исследуемых субстратов, что свидетельствует об интенсификации процесса биодegradации молочнокислыми бактериями растительных субстратов.

В биотехнологической практике часто используют одновременно ферментную обработку растительного сырья наряду с молочнокислыми бактериями с целью размягчения целлюлозы в процессе подготовки льна и хлопка для дальнейших этапов получения натуральных тканей.

При масштабной переработке отходов производства рапсового масла возможно получение этанола. Данные исследования могут быть использованы для снижения себестоимости биодизеля за счёт получения этанола из отходов производства.

**Выводы.** Анализ полученных результатов исследований дает возможность утверждать о перспективе использования данного биотехнологического подхода, направленного на интенсификацию методов получения этанола из отходов производства, а при использовании комплекса – молочнокислых бактерий и иммобилизованных ферментов. На основе результатов исследований рекомендовано использовать биотехнологические манипуляции, направленные на грамотное применение возможностей промышленной микробиологии и инженерной энзимологии с целью оптимизации технологии получения спирта из отходов производства рапсового масла путём использования иммобилизованных ферментов и симбиоза молочнокислых бактерий для увеличения выхода продукта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанок А.Г. Микробный синтез на основе целлюлозы: белок и другие ценные продукты / Лобанок А.Г., Бабицкая В.Г., Богдановская Ж.Н. – Мн.: Наука и техника, 198. – 325с.
2. Муратова Е.И. Биотехнология органических кислот и белковых препаратов: учебное пособие / Е.И.Муратова, О.В.Зюзина, О.Б.Шуняева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 80с.
3. Биотехнология: учеб. пос. для вузов в 8 кн. / [под ред. Н.С.Егорова, В.Д.Самуилова]. – Кн. 7: Иммобилизованные ферменты / [И.В.Березин, Н.Л.Клячко, А.В.Левашов и др.]. – М.: Высшая школа, 1987. – 159с.
4. Барбанец Л.Д. Глікозидази мікроорганізмів і методи їх дослідження / Барбанец Л.Д., Борзова Н.В. – Київ: Наукова думка, 2010 – 400с.
5. Корнієнко І.М. Використання полісинтетичного матеріалу, як носія для покращення іммобілізації живих організмів / Корнієнко І.М., Волошин М.Д. // Хімія і сучасні технології: II Міжнар. конф., 26-28 квітня 2005 р.: тези доп. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2005. – С.296.
6. Дорош А.К. Производство спиртовых напитков: сырье, аппараты, технологии получения спирта и водки с рекомендациями для индивидуальных производителей / Дорош А.К., Лисенко В.С. – К.: Либідь, 1995 – 272 с.

*Поступила в редколлегию 04.06.2012.*