

**С. І. БУХКАЛО, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, В. О. ОЛЬХОВСЬКА, М. М. ЗІПУННИКОВ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ З ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ БАРДИ**

Предметом дослідження статті є технологія переробки та утилізації післяспиртової барди на базі різновидів технології та обладнання. Встановлено можливість використання переваг сучасних пластинчастих теплообмінників для інтеграції їх технологічних процесів. Інноваційним предметом дослідження є комплексна технологія переробки та кінцевої утилізації післяспиртової барди. Матеріали статті надають оцінку способам використання фільтрату барди для отримання кормових продуктів, збагачених живими клітинами бактерій лактобактерій та пропіонової кислоти, а також білком. У таких технологіях введення хлориду кобальту в навколишнє середовище в концентрації 1,1 мг/л викликає збільшення вмісту біомаси, живих клітин бактерій пропіонової кислоти та накопичення білка. Вміст нуклеїнових кислот у продуктах корму, отриманих як роздільним, так і спільним вирощуванням бактерій, не перевищує допустимий рівень (до 10 г/добу) споживання тварин. У процесі дослідження післяспиртової барди отримано білок високий вміст. Фільтрат може бути повернутий повністю в спиртове виробництво.

**Ключові слова:** післяспиртова барда; комплексна утилізація; фільтрат; кормові продукти; пластинчасті теплообмінники.

**С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ, Н. Н. ЗИПУННИКОВ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОЙ ИНЖЕНЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ**

Предметом исследования статьи является технология переработки и утилизации послеспиртовой барды на базе разновидностей технологии и оборудования. Установлена возможность использования преимуществ современных пластинчатых теплообменников для интеграции технологических процессов. Инновационным предметом исследования является комплексная технология переработки и конечной утилизации послеспиртовой барды. Материалы статьи предоставляют оценку способам использования фильтрата барды для получения кормовых продуктов, обогащенных живыми клетками бактерий лактобактерий и пропионовой кислоты, а также белком. В таких технологиях введение хлорида кобальта в окружающую среду в концентрации 1,1 мг/л вызывает увеличение содержания биомассы, живых клеток бактерий пропионовой кислоты и накопление белка. Содержание нуклеиновых кислот в продуктах корма, полученных как раздельным, так и общим выращиванием бактерий, не превышает допустимый уровень (до 10 г/сут) потребления животных. В процессе исследования послеспиртовой барды получено белок высокое содержание. Фильтрат может быть возвращен полностью в спиртовое производство.

**Ключевые слова:** послеспиртовая барда; комплексная утилизация; фильтрат; кормовые продукты; пластинчатые теплообменники.

**S. I. BUKHALO, O. I. OLKHOVSKA, V. O. OLKHOVSKA, M. M. ZIPUNNIKOV**

### **RESEARCH AND ANALYSIS OF INNOVATIVE MEASURES ON COMPLEX RECYCLING TECHNOLOGY OF DISTILLERS GRAINS**

The subject of the article's research is the technology of processing and recycling of post-alcohol bard based on the types of technology and equipment. The possibility of using the advantages of modern plate heat exchangers for the integration of their technological processes is established. An innovative subject of research is a complex technology of processing and final disposal of post-alcohol bards. The article provides an assessment of how to use bard filtrate to obtain feed products enriched with live cells of lactobacilli and propionic acid, as well as protein. In such technologies, the introduction of cobalt chloride into the environment at a concentration of 1.1 mg/l causes an increase in the content of biomass, living cells of bacteria of propionic acid and protein accumulation. The content of nucleic acids in feed products obtained as separate and co-growing bacteria does not exceed the allowable level (up to 10 g/day) of animal consumption. In the post-alcohol bard study, a high protein content was obtained. The filtrate can be completely returned to alcohol production. This article describes the possibilities of assessing: the main demands to ethyl alcohol production looked through, it is considered. The possibility of using the advantages of modern plate heat exchangers units for their tntegy saving process integration was pointed out.

**Keywords:** post-alcohol bard; complex utilization; filtrate; feed products; plate heat exchangers.

**Вступ.** Виробництво етилового спирту продовжує неухильно зростати – більш ніж 150 галузей промисловості застосовує його для різних цілей й кількість споживачів зростає. Економічність виробництва спирту визначається витратами різних видів енергії, енергоефективністю використовуваного встаткування й технологій, застосуванням заходів з ресурсо- і енергозбереження протягом усього процесу, а також розробкою екологічно чистих енерготехнологій. Стічні води спиртових заводів, що переробляють крохмальвмісну сировину, відносяться до категорії висококонцентрованих за органічним забрудненням. Їх склад і кількість залежать від технології виробництва спирту, а необхідна ефективність очищення обумовлена

умовами скидання. Слід відзначити, що у середньому на 1 дал спирту із зерна або картоплі звичайно одержують 0,14 м<sup>3</sup> барди. В 1 т такої барди втримується 18,6 кг сирого протеїну, який при обробці перетворюється в протеїн дріжджів, і з урахуванням азоту, що вводиться в корми, вміст перетравлюваного тваринами протеїну збільшується у два рази.

Утилізація спиртової барди, крім важливого економічного ефекту, має також велике екологічне значення. Практично всі спиртові заводи за межами нашої країни мають відділення з утилізації барди, продуктом виробництва якого є сухий кормовий продукт.

© Бухкало С.І., Ольховська О.І., Ольховська В.О., Зіпунніков М.М., 2019

Зернова, картопляна або мелясна барда відрізняються за своїм складом, по концентрації й номенклатурі сухих речовин, і, отже, по кормовій цінності. Перевозити неперероблену бардові не має сенсу: великий об'єм рідини й досить низький вміст коштовних речовин робить транспортування цих відходів нерентабельним.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.**

**1. Аналіз сучасного стану проблеми.** Пропоновані технології переробки барди можна умовно розділити на чотири основні технологічні схеми з: випарними станціями; аеробною мікробіологічною переробкою рідкої фази з одержанням кормових дріжджів; метантанками з одержанням біогазу; комбіновані схеми.

За думкою деяких авторів, найбільш перспективним і рентабельним способом біологічної очистки стічних вод спиртових виробництв можуть бути двоступеневі аеротенки, технологічні параметри роботи яких можуть бути встановлені тільки експериментально з урахуванням конкретних умов основного виробництва. В основу комбінованих технологічних схем покладені відомі технологічні прийоми, що успішно зарекомендували себе – поділ рідкої й твердої фази на центрифугах, вирощування кормових дріжджів на субстраті, сушіння продукції [1–3]. Технологічні схеми з випарними станціями пов'язані з розпарюванням фугату у випарних станціях є найпоширенішими у світі. Приваблива простота технічного оформлення не знімає, однак, проблем: вартість випарних станцій і допоміжного устаткування досить висока, процес випарки вимагає значних енергетичних витрат, а утилізація одержуваного конденсату стає окремим завданням, розв'язок якого усередині технології не закладений.

Схеми з одержанням кормових дріжджів пов'язані з тим, що вже із другої половини ХХ століття як кормові добавки у тваринництві стали широко застосовуватися кормові дріжджі. Вони суттєво підвищують біологічну цінність кормів, насамперед за рахунок незамінних амінокислот, що втримуються в них, і вітамінів. У цей час одержання кормових дріжджів обмежене дрібними місцевими виробництвами в різних господарствах.

Істотне зниження вартості встаткування з одночасним зниженням експлуатаційних витрат при переробці післяспиртової барди, на думку ряду авторів, можна одержати, якщо застосувати замість випарювання технологію аеробної мікробіологічної переробки рідкої фази з одержанням концентрованих кормових дріжджів.

Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисленні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однаково

кількість субстрату здатне підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах протікає з утворенням  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти і т.д. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних. Технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні: барда подається в спеціальні ємності, у які вводяться анаеробні бактерії. Однак, у даному способі переробки барди необхідні величезні метантанки, тому що процес переробки барди анаеробними бактеріями вкрай повільний. Іншим недоліком методу є досить тривалий період виходу на режим – до 6 місяців.

Комбінована технологічна схема переробки барди розроблена порівняно недавно, вона передбачає переробку післяспиртової барди в сухий дріжджовий кормовий концентрат – суміш твердої фази барди, з вирощеними на основі фугату кормовими дріжджами. Запропонована схема дозволяє в значній мірі заощаджувати енергоресурси в процесі переробки барди.

Крім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

**2. Визначення основних критеріїв дослідження.** Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисленні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однаково кількість субстрату здатне підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах протікає з утворенням  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти і т.і. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних. Технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні: барда подається в спеціальні ємності, у які вводяться анаеробні бактерії. Однак, у даному способі переробки барди необхідні величезні метантанки, тому що процес переробки барди анаеробними бактеріями вкрай повільний. Іншим недоліком методу є досить тривалий період виходу на режим – до 6 місяців.

Комбінована технологічна схема переробки барди розроблена порівняно недавно, вона передбачає переробку післяспиртової барди в сухий дріжджовий кормовий концентрат – суміш твердої фази барди, з вирощеними на основі фугату

кормовими дріжджами. Запропонована схема дозволяє в значній мірі заощаджувати енергоресурси в процесі переробки барди.

Крім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

## Виклад основного матеріалу дослідження.

### 1. Загальні положення теми.

У процесі одержання спирту в барді залишаються майже всі, за винятком крохмалю й сахарів, живильні речовини, що присутні у вихідній сировині, яка надходить у спиртове виробництво, внаслідок чого барда являє собою досить коштовний харчовий і кормовий продукт незалежно від виду використовуваної сировини (табл. 1).

Таблиця 1. Витрата сировини для вироблення спирту і його кормова цінність (корм. од.)

Вид сировини	Вихід спирту з одиниці сировини, дал/т	Кормова цінність сировини, 1 кг корм. од.	Вихід барди, дал/дал спирту	Кормова цінність барди, 1 кг корм. од.
Картопля	9,8	0,30	12,0	0,04
Цукровий буряк	9,0	0,26	12,0	0,04
Пшениця	36,0	1,20	12,0	0,09
Кукурудза	37,5	1,34	12,0	0,12
Жито	35,4	1,18	12,0	0,08
Ячмінь	29,8	1,21	12,0	0,09
Меляса	31,0	0,77	11,0	–

При скиданні неочищених стічних вод спиртового заводу на міські очисні споруди навантаження на них по БСК зростає від 1 до 3 тон на добу в залежності від продуктивності заводу. Для утилізації барди спиртового виробництва в цей час використовують два основні способи:

1) випарювання (згущення) з метою одержання кормових концентратів;

2) у якості сировини для виробництва кормових дріжджів.

Ці способи дають відходи зі вмістом сухих речовин до 8 %, які також необхідно утилізувати. Незалежно від застосовуваного сировини технологічний процес одержання етилового спирту включає три основні стадії:

- 1) підготовка сировини до зброджування;
- 2) зброджування сахароутримуючих середовищ;
- 3) виділення спирту із бражки.

Підготовча стадія найбільш проста при переробці в етиловий спирт сахароутримуючих матеріалів. В Україні спирт із такого виду сировини в основному одержують із меляси. При використанні крохмалеутримуючої сировини метою підготовчої стадії є оцукрювання крохмалю.

Правильний добір високоефективного теплообмінного встаткування багато в чому визначає продуктивність і економічність процесу в цілому. Найбільш ефективним і сучасним є безперервно-потоківий спосіб, який підвищує продуктивність бродильного відділення, сприяє затримувannya розвитку інфекції в масі й подовжує строк роботи бродильної батареї між профілактичними стерилізаціями встаткування.

### 2. Загальні положення технології.

Технологічна схема (рис. 1) одержання сухого продукту випарної установки з механічною

рекомпресією для зневоднювання рідкої фази післяспиртової барди з використанням декантерних центрифуг, пластинчастих випарних апаратів і пластинчастих теплообмінників для підігріву барди і як конденсатори виглядає в такий спосіб:

- післяспиртова барда з концентрацією сухих речовин, приблизно 7,5–8,0 %, спочатку подається на роздільне сито, де частина її фільтрується й далі використовується для готування замісу;

- густа частина відфільтрованої барди й не фільтрована барда зливаються в збірник, і суміш насосом подається на ділянку центрифугування;

- перед центрифугуванням барда може бути нагріта у звичайному пластинчастому розбірному теплообмінному апараті й далі подається на декантерні центрифуги (або центрифуги іншого типу), після чого відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник;

- після цього фугат підігрівається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається до першого ступеня випарної станції;

- після проходження всіх ступенів випарної станції згущена приблизно до 40 % барда направляється на сушіння.

Роботи випарних апаратів станції (рис. 2) здійснюються при низькому тиску пари, під розрядженням. Особливість представленої схеми полягає у використанні на останньому ступені випарювання традиційних пластинчастих розбірних теплообмінників великої потужності або ширококаналних теплообмінників. Вони, як правило, установлюються із примусовою циркуляцією.

Для згущення барду упарюють на випарних

станціях до концентрації 65–70 %, залежно від вмісту сухих речовин у вихідному продукті (рис. 2) [6].

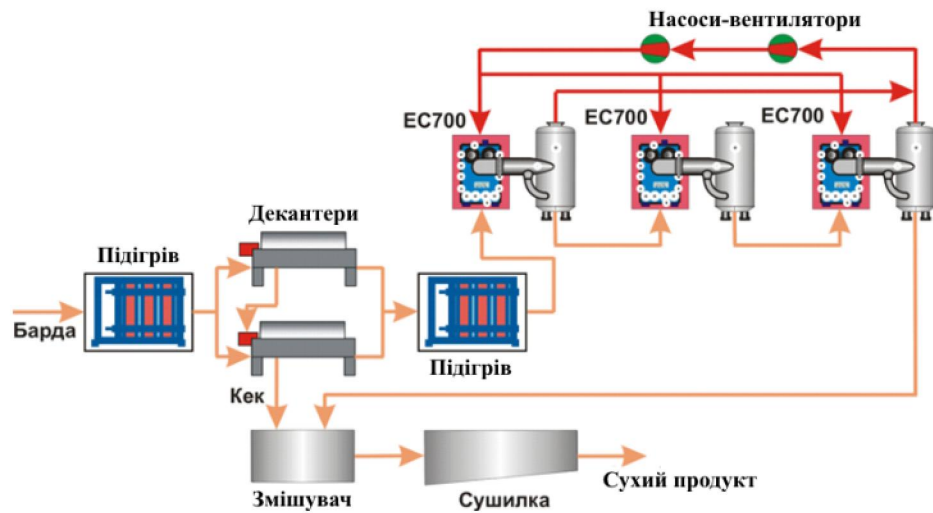


Рис. 1. Схема утилізації післяспиртової барди з використанням декантерних Центрифуг і пластинчастих випарних апаратів [6].

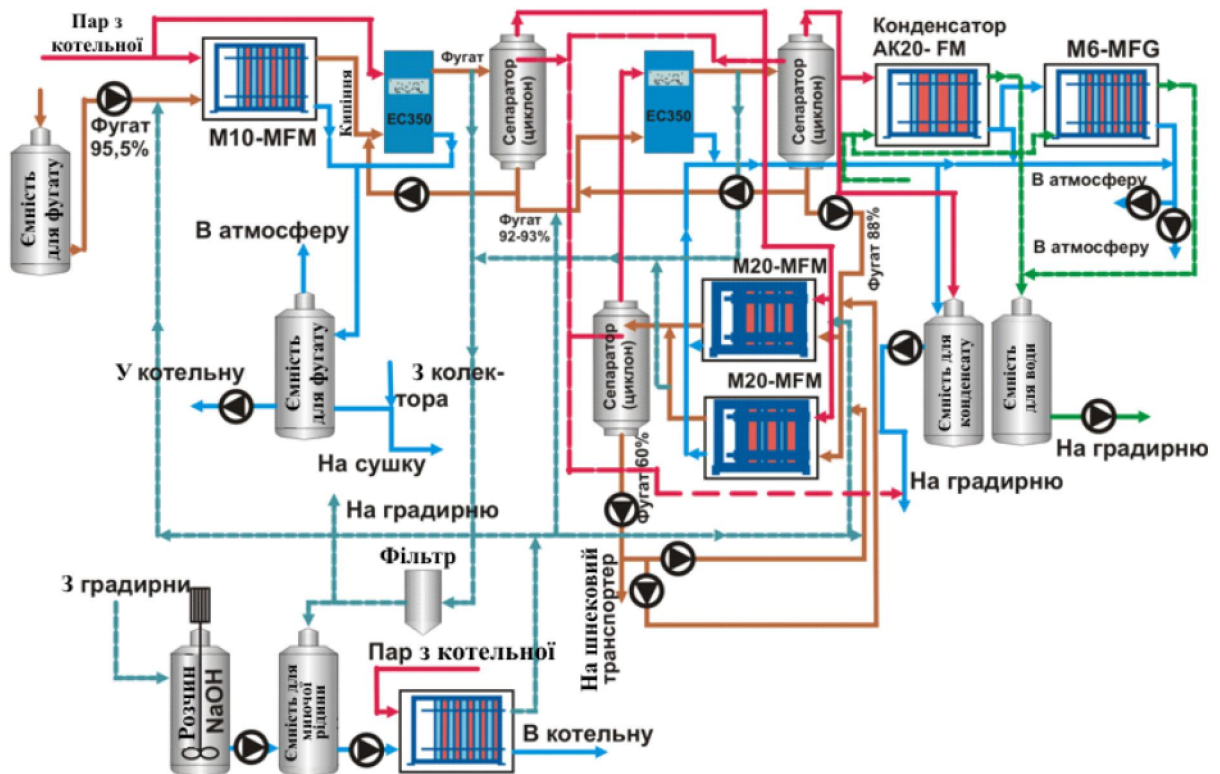


Рис. 2. Відділення випарювання фугату [6].

Остання стадія обробки післяспиртової барди – сушіння. Технологічна схема одержання сухого продукту виглядає в такий спосіб: післяспиртова барда з концентрацією сухих речовин, приблизно 7,5–8,0 % спочатку подається на розподіл на сито, де частина її фільтрується й далі використовується для готування замісу.

Густа частина після відфільтрування барди й нефільтрована барда зливаються в збірник, і насосом суміш подається на ділянку центрифугування; перед центрифугуванням барда може бути нагріта у звичайному пластинчастому розбірному теплообмінному апарату й далі подається на декантерні центрифуги (або центрифуги іншого типу).

Після проведених операцій відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляєється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник; далі фугат підігривається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається в перший шабель випарної станції; після проходження всіх шаблів випарної станції згущена приблизно до 40 % барда направляєється на сушіння.

Іноді технологічно не передбачають обробку на розділовому ситі. У цьому випадку частина фільтрату барди (до 40 %) вертається на готування замісу варильного відділення після центрифугування.

Слід пам'ятати, що білки це високомолекулярні речовини природного походження, що складаються із з'єднаних амідним зв'язком залишків амінокислот. Вихідна (нативна) зернова барда має кислу реакцію, високу температуру, а близько 1% від загальної маси барди зважені речовини у вигляді дробини – залишками часточок зерна й солоду, являють собою корозійно-абразивне середовище, яке при русі інтенсивно руйнує трубопроводи й технологічні апарати. У відстояній рідкій фазі барди перебувають зважені речовини у вигляді дрібнодисперсних і колоїдних суспензій, з розміром до 1÷2 мкм, а також розчинені продукти кислого бродіння, амінокислоти, рослинний жир і безазотисті екстрактивні речовини в кількості до 50% від загальної маси всіх органічних речовин, що втримуються в барді. Значення рН, при якому молекула амінокислоти перебуває в розчині у вигляді біполярного іона (колоїдної частки з мінімумом розчинності), називається ізополарною точкою.

Для переведення істинно розчинених амінокислот у зважений колоїдний стан можливо попереднє підлужування вихідної барди до рН = 6 – ізопотенційної точки  $\approx 50\%$  усіх розчинених амінокислот. Після попереднього кислого бродіння, витягу дробини й наступної нейтралізації до рН=6,0 рідка фаза барди прохолоджується до температури, регламентованої процесами. Кек, вологістю 40÷50%, далі направляєється на сушіння, при цьому необхідно враховувати, що білки деструкують при температурі більш ніж 82 °С.

Спосіб концентрування спиртової барди може бути використаний при утилізації стоків спиртового виробництва. Відомі способи утилізації барди в кормові дріжджі, бетаїн, глютамінову кислоту, бардяне вугілля, а також спосіб обробки аміаком стічних вод мелясної барди до рН 8–10 і одержанням осаду фільтруванням [9, 10] та інші.

Найбільш близьким за аналогом до способу (рис. 3), який пропонується нами, по технічній суті й результатам, яких досягають є спосіб концентрування мелясної післядріжджевої барди перед розпарюванням при обробці розчином каустичної соди [6, 7, 11].

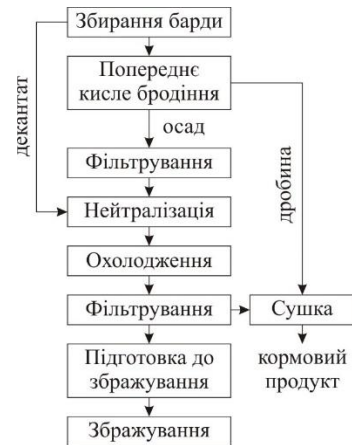


Рис. 3. Функціональна схема обробки барди

Спосіб концентрування спиртової барди, який пропонується нами, проводять у такий спосіб. Спиртову барду з кількістю сухих речовин 4,5 % по масі, при рН 4,0 обробляють хімічним реагентом (основна стадія виробництва) – визначеною кількістю оксиду кальцію, який використовують для осадження сухих речовин барди, попередньо його подрібнюють і просівають для видалення нерозчинних речовин, а далі вводять у спиртову барду у кількості 1,0 % від її маси до досягнення показника рН середовища 7,0 при температурі 65 °С.

Проведення процесу концентрування за таких умов приводить до коагуляції білкових сполук, які утворюють із гідроксидом великі конгломерати і осаджують інші корисні речовини спиртової барди.

Використання для хімічної обробки нелетучих хімічних реагентів не створює шкідливих умов на виробництві й підвищує екологічну безпеку способу.

Технологічна схема одержання сухого продукту має вирішальне значення для формування якісних властивостей кормових продуктів і складається із важливих технологічних операцій:

1) післяспиртова барда після нейтралізації має концентрацією сухих речовин, приблизно 7,5–8,0 %, спочатку подається на роздільне сито, де частина її фільтрується й далі використовується для готування замісу;

2) густа частина відфільтрованої барди й не фільтрована барда зливаються в збірник, і суміш насосом подається на ділянку центрифугування рис. 4 [6];

3) перед центрифугуванням барда може бути нагріта у звичайному пластинчастому розбірному теплообмінному апараті й далі подається на декантерні центрифуги (або центрифуги іншого типу), після чого відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляєється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник і далі подається за призначенням – для виготовлення культурального середовища або на стадію нейтралізації;

4) інший спосіб – фугат підігривається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається до першого ступеня випарної станції за потребою.

Іноді технологічно не передбачають обробку на роздільному ситі. У цьому випадку частина фільтрату барди (до 40 %) повертається на готування замісу варильного відділення після

центрифугування.

Спосіб концентрування сухих речовин спиртової барди [9] дозволяє досягти позитивних результатів: максимально осадити речовини різного походження її середовища (табл. 2); привести рівень рН середовища до необхідного значення показника 6,0 – 8,0 з метою подальшого отримання кормового продукту.

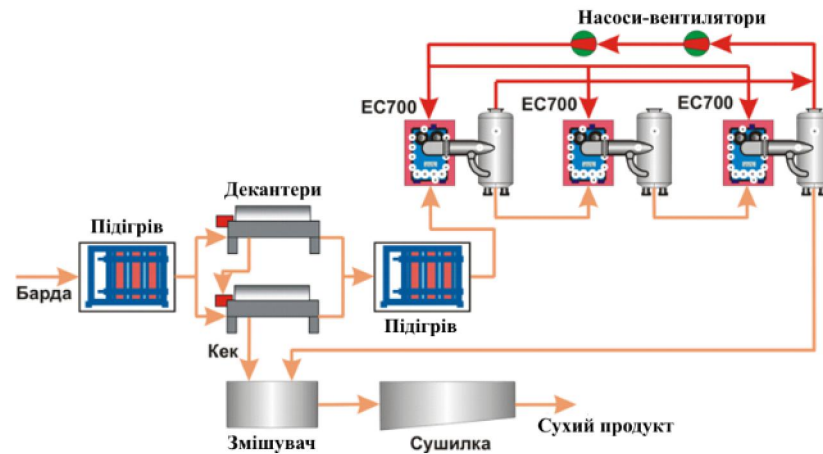


Рис. 4. Схема відділення утилізації післяспиртової барди з використанням декантерних центрифуг і пластинчастих випарних апаратів [6].

Таблиця 2. Показники спиртової барди після завершення стадії преддефекації

Кількість добавки	Показник спиртової барди після хімічної обробки	
	Сухі речовини, % від маси	Водневий показник, рН
0,5	до 3,0	6,0
1,0	до 2,0	7,0
1,5	до 2,0	8,0

Таблиця 3. Порівняльні показники спиртової барди

Показник барди	Спиртова барда		
	Вихідна	Фугат без хімічної обробки	Фугат після хімічної обробки
Сухі речовини, % від маси	4,5 – 8,0	до 4,0	до 2,0
Водневий показник (рН)	4,0 – 4,5	4,0 – 4,5	7,0

Обробка спиртової барди хімічним реагентом при рН середовища нижче 6,5 не забезпечує коагуляції білкових сполук і утворення осаду гідроксиду кальцію; рівень рН середовища вище 7,0 приводить до додаткових витрат хімічного реагенту й негативно впливає на встаткування, а також з погляду економічних показників є нерентабельним. У результаті порівняльних випробувань способу, який пропонується, за вищевказаними показниками, було обрано для стадії преддефекації кількість хімічної добавки 1 % від маси барди, яка дозволяє одержати високі результати на спиртовому виробництві (таблиця 3).

Як видно з результатів лабораторних і промислових випробувань, кількість сухих речовин у спиртовій бардові після хімічної обробки вже на стадії преддефекації зменшується від 4,5 до 2,0 % по масі. Одночасно така хімічна обробка дозволяє уникнути великих енергетичних витрат на

проведення складної стадії випарки в технологічному регламенті за рахунок виключення її з технологічної схеми виробництва. При порівнянні значень показника сухого залишку способу концентрування спиртової барди з відомими, видно, що ці значення значно кращі й не мають потреби у введенні додаткових технологічних операцій у процес, а навпаки спрощують його апаратурне оснащення й зменшують кількість стадій на виробництві. Отримані показники по сухому залишкові барди показують, що можливо використовувати рідну-фільтрат – воду, наприклад, після мембранного очищення як воду для технологічного циклу.

Відомий спосіб [12] коагуляції та осадження органо-мінеральних речовин шляхом введення у рідкі відходи спиртового виробництва суспензії дефекації або вапна у кількості 10–100 кг сухої маси/1 т рідких відходів та поліакриламід у кількості 10–100 г сухої маси/100 л рідких відходів і

подальше відкачування висадженої суміші надає інформацію про дослідження кількості складових отриманих порошкоподібних речовин – вміст вільних та зв'язаних амінокислот (табл. 4: №1 – з вапном; № 2 – вапно та поліакриламід; наважка для аналізу на амінокислоти 30 мг).

Таблиця 4. Порівняльні показники отриманих порошкоподібних речовин

Амінокислота	№ 1, кількість мг	№ 2, кількість мг
Аспарагінова	0,1106	0,2196
Треонин	0,0532	0,1318
Серин	0,0638	0,1651
Глутамінова	0,2747	0,8148
Пролин	0,0934	0,3850
Гліцин	0,0580	0,1429
Аланін	0,0619	0,1489
Валін	0,0611	0,1532
Метіонін	0,0091	0,0242
Ізолейцин	0,0527	0,1293
Лейцин	0,0958	0,2364
Тирозин	0,0402	0,0903
Фенілаланін	0,0619	0,1562
Лізин	0,0614	0,1459
Гістидин	0,0284	0,0749
Аргінін	0,0651	0,1467
Сума	1,1913	3,1452

Фугат після хімічної обробки можна використати для вирощування молочнокислих та пропіоновокислих бактерій, така технологія є перспективною з точки зору виробництва протеїново-вітамінного кормового пробіотичного продукту низької собівартості, високої харчової цінності і антибактеріальної дії [9, 13, 14].

Краще зростання мікроорганізмів спостерігалось в зразках з трьохгодинною відстрочкою внесення пропіоновокислих бактерій (рис. 4) [13]: значення рН знизилася до 3,17; вміст протеїну збільшився до 19,6 мг/мл, що склало 33% від рівня біомаси в 59,3 г/л – найвищої серед досліджених зразків. Вміст нуклеїнових кислот також було найвищим – 1,5 мкг/мл, проте це значення не є критичним для тварин і цілком укладається в добові межі споживання нуклеїнових кислот – 10 г [15]. Лактат, спочатку утворений молочнокислими паличками, зброджується потім до пропіонату, ацетату і вуглекислого газу [16].

За думкою авторів [13] найбільш незадовільними виявилися результати при культивуванні варіантів з шестигодинним попереднім культивуванням лактобацил і без попереднього культивування (з одночасним внесенням пропіоновокислих і лактобактерій); звідси випливає висновок, що для гарного росту пропіоновокислих бактерій попередня інкубація лактобацил необхідна, але не більше 3 год

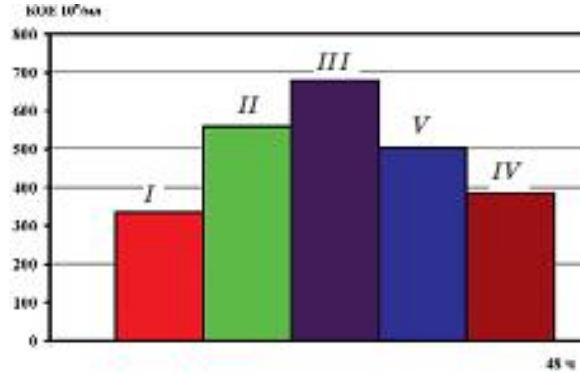


Рис. 4. Зміна кількості живих клітин молочнокислих і пропіоновокислих бактерій у процесі культивування на фільтраті післяспиртової барди при відтермінуванні внесення пропіоновокислих бактерій (годин): I – 0; II – 1,5; III – 3; IV – 4,5; V – 6 [13].

У вихідному фільтраті післяспиртової барди містяться протеїн і нуклеїнові кислоти – продукти життєдіяльності клітин дріжджів, які здійснювали спиртове бродіння (табл. 5: протеїн – Пр; сухі речовини – СР; нуклеїнові кислоти – НК).

Таблиця 5. Порівняльні показники отриманих порошкоподібних речовин

Продукт	рН	Пр, мг/мл	СР, г/л	НК, мкгНК/мл
Фільтрат післяспиртової барди	4,43	4,23	27,4	1,233
	±	±	±	±
	0,02	0,01	0,2	0,003

У зв'язку з тим, що вихідний рівень рН післяспиртової барди становив 4,47, його значення, за висновками авторів, необхідно доводити до оптимальної величини, що необхідний для розвитку культурального середовища.

Таким чином, визначені перспективи інтеграції в сучасні схеми енергозберігаючих розв'язків технології з урахуванням пропонованого способу вдосконалення концентрування сухих речовин спиртової барди. Цей спосіб дозволяє максимально осадити речовини різного походження середовища барди, її поділом після обробки, на осад і рідину, тобто, можливо одержати кормову добавку й воду для технологічного циклу.

Вибір технології й устаткування дозволяє рекомендувати цей спосіб як дешеву й ефективну можливість концентрування спиртової барди, створює передумови для подальшої апробації й впровадження на спиртових заводах.

#### Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Можна відзначити, що утилізація спиртової барди і зараз є складним технологічним процесом для галузі виробництва етилового спирту з рослинної та зернової сировини. Більшість існуючих технологічних схем виробництва етилового спирту

передбачають використання післяспиртової барди тільки як кормопродукта в рідкому виді.

Для більшості спиртових заводів у повному об'ємі використовувати післяспиртову барду в рідкому виді практично неможливо. Часто виникають ситуації змушеного скорочення потужності й зупинки спиртових заводів через не реалізацію барди, особливо в літній період. Питання можна вирішувати шляхом удосконалення технологій утилізації барди, забезпеченням скорочення виходу рідкої барди й впровадження схем її переробки в сухі й концентровані кормові продукти.

Таким чином, за виконаним аналізом інноваційних методів та способів утилізації спиртової барди необхідно відзначити загальні положення технології:

1) всі спиртові заводи повинні мати відділення з утилізації барди, продуктом виробництва якого є сухий кормовий продукт або сировиною культурального середовища;

2) при цьому необхідно враховувати що зернова, картопляна або мелясна барда відрізняється за своїм складом, концентрацією й номенклатурою сухих речовин, і, отже, за кормовою цінністю; потужності обладнання відділення з утилізації барди зв'язані з розрахунками – у середньому на 1 дал спирту із зерна або картоплі одержують 0,14 м<sup>3</sup> барди, а в 1 т такої барди утримується 18,6 кг сирого протеїну, що при обробці, наприклад, перетворюється в протеїн дріжджів, і з урахуванням азоту, що вводять у корми, вміст перетравлюваного тваринами протеїну збільшується у два рази.

Окрім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Для згущення барду упарюють на випарних станціях до концентрації 65–70 % залежно від вмісту сухих речовин у вихідному продукті. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

Комплексні харчові добавки з високою доданою вартістю можуть знизити фінансовий ризик, надаючи промисловості вихід за межі примхливого енергетичного ринку. Побічні продукти технології етилового спирту надають можливість виробляти унікальні комплексні кормові продукти, які сприяють зростанню галузі.

Представлені матеріали мають статус інтелектуальної власності для навчання студентів, це складові комплексних інноваційних проектів [17–21].

#### Список літератури

1. Кухаренко, А.А. Безотходная биотехнология этилового спирта / А.А. Кухаренко, А.Ю. Винаров. М.: Энергоатомиздат, 2001. – 272 с.

- Рябов, Г.К. Система безотходной переработки послеспиртовой барды. Инновации: Исследования и разработки. 2003. – №6.
- Галкина Г.В. Новая технология переработки послеспиртовой барды / Г.В. Галкина, В.И. Илларионова, Г.С. Волкова, Е.В. Горбатова, Е.В. Куксова // Ликероводочное производство и виноделие. 2004. – №6. – С. 14–16.
- Технология спирта / В.Л. Яровенко и др. М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002. – 464 с.
- Лозанская, Т.И. Производство кормовых дрожжей из послеспиртовой зерновой барды по безотходной технологии / Т.И. Лозанская, Н.М. Худякова, Л.А. Лихтерберг // Ликероводочное производство и виноделие. 2002. – № 7. – С. 1–3.
- Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. – 832 с.
- Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
- Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
- Бухкало С.И. Спосіб концентрування спиртової барди. Патент на корисну модель 40625, Україна. 2009.
- Климовский Д.Н., Смирнов В.А., Стабников В.Н. Технология спирта. М., 1967, с. 406–410.
- Авторское свидетельство СССР № 959747, кл. А 23 L 3/18. Способ концентрирования мелясной барды, 1982.
- Маланчук В.Я. Способ получения органоминеральных смесей из жидких отходов спиртового производства. 2005. Пат. РФ 2337136.
- Шутова В.В., Ивинкина Т.И., Фадеева И.В., Ревин В.В. Использование послеспиртовой барды для культивирования молочнокислых и пропионовокислых бактерий. Биотехнология. 2010. Т. 3, № 6, с. 68–73.
- Бухкало С.И. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 217.
- Промышленная микробиология / Под ред. Н. С. Егорова. – М.: Высшая школа, 1989. – 680 с.
- Воробьева Л. И. Пропионовокислые бактерии. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 288 с.
- Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.И. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 320.
- Сирку М.А., Бухкало С.И., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнута М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції



- (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
19. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
  11. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 959747, kl. A 23 L 3/18. Sposob koncentrirovaniya mel'jasnoj bardy, 1982.
  12. Malanchuk V.Ja. Sposob poluchenija organomineral'nyh smesej iz zhidkih othodov spirtovogo proizvodstva. 2005. Pat. RF 2337136.
  13. Shutova V.V., Ivkina T.I., Fadeeva I.V., Revin V.V. Ispol'zovanie poslespirtovoj bardy dlja kul'tivirovaniya molochnokislyh i propionovokislyh bakterij. Biotehnologija. 2010. T. 3, № 6, pp. 68–73.
  14. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «KhPI», p. 217.
  15. Promyshlennaja mikrobiologija / Pod red. N. S. Egorova. – M.: Vysshaja shkola, 1989. – 680 s.
  16. Vorob'eva L. I. Propionovokislye bakterii. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 288 p.
  17. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
  18. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
  19. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «HPI», p. 343.
  1. Kuharenko, A.A. Bezothodnaja biotehnologija jetilovogo spirta / A.A. Kuharenko, A.Ju. Vinarov. M.: Jenergoatomizdat, 2001. – 272 p.
  2. Rjabov, G.K. Sistema bezothodnoj pererabotki poslespirtovoj bardy. Innovacii: Issledovanija i razrabotki. 2003. – №6.
  3. Galkina G.V. Novaja tehnologija pererabotki poslespirtovoj bardy / G.V. Galkina, V.I. Illarionova, G.S. Volkova, E.V. Gorbatova, E.V. Kuksova // Likerovodocnoe proizvodstvo i vinodelie. 2004. – №6, pp. 14–16.
  4. Tehnologija spirta / V.L. Jarovenko i dr. M.: Kolos, «Kolos-Press», 2002. – 464 p.
  5. Lozanskaja, T.I. Proizvodstvo kormovyh drozhzhej iz poslespirtovoj zernovoj bardy po bezothodnoj tehnologii / T.I. Lozanskaja, N.M. Hudjakova, L.A. Lihterberg // Likerovodocnoe proizvodstvo i vinodelie. 2002. – № 7, pp. 1–3.
  6. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
  7. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
  8. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
  9. Bukhhalo S.I. Sposib koncentruvannja spirtovoi bardi. Patent na korisnu model' 40625, Ukraïna. 2009.
  10. Klimovskij D.N., Smirnov V.A., Stabnikov V.N. Tehnologija spirta. M., 1967, pp. 406–410.

Надійшла (received) 19.05.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

**Ольховська Оксана Ігорівна (Ольховская Оксана Игоревна, Olkhovska Oksana Igorivna)** – ст. викладач, кафедра менеджменту і опадаткування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

**Ольховська Вікторія Олегівна (Ольховская Виктория Олеговна, Olkhovska Victoria Olegovna)** – студентка I курсу ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

**Зіпунніков Микола Миколаєвич (Зипунников Николай Николаевич, Zipunnikov Mykola Mykolaevich)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0579-2962>; e-mail: zipunnikov\_n@ukr.net