

УДК 663.5

**Бойко О. О.**

**Чагайда А. О., к.т.н., доц.**

**Гонта І. А.**

*Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна*

## **ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ЗБРОДЖУВАННІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ЕТИЛОВИЙ СПИРТ**

Етиловий спирт широко застосовується у харчовій промисловості: при виготовленні лікєро-горілчаних та плодово-ягідних напоїв; для кріплення виноматеріалів і купажування виноградних вин; у виробництві оцту, харчових ароматизаторів та парфумерно-косметичних виробів. У мікробіологічній і медичній промисловості спирт потрібен для осадження ферментних препаратів із культуральних середовищ або екстрактів із твердих культур, виробництва ліків, препаратів, вітамінів, проведення дезінфекції, у ветеринарії і фармакопеї.

Енергоємність ВВП України за показником умовного палива у 2,6 рази перевищує аналогічний показник індустріально розвинутих країн світу, що вказують та потребу пошуку шляхів зменшення питомого енергоспоживання, в тому числі за рахунок рекуперації теплової енергії.

При виробництві етилового спирту найбільш енергозатратною стадією виробництва є етап ректифікації. Однією з причин цього є обмеження на концентрації етилового спирту в бражці після збродження. Отже головною метою нашого дослідження був пошук шляхів подолання цього обмеження та пошуку можливостей зниження енергоспоживання при виробництві етилового спирту.

При спиртовому бродінні кожна молекула цукру перетворюється в дві молекули спирту і дві молекули діоксиду вуглецю, а це означає підвищення осмотичного тиску за рахунок чотирьох молекул замість однієї молекули цукру. При цьому на 1-му етапі, на якому діоксид вуглецю не втрачається з середовища, а лише розчиняється в ньому, він у молекулярній формі розчиненої речовини також є причиною збільшення осмотичного тиску. Але за досягнення стану насичення сула вміст розчиненого  $\text{CO}_2$  стабілізується і подальше нарощування осмотичного тиску здійснюється лише за рахунок збільшення концентрації етанолу.

Для визначення осмотичного тиску, який створюється розчиненим діоксидом вуглецю, необхідно визначити його вагову концентрацію. За температури  $t = 30^\circ\text{C}$ , атмосферного тиску і за наявності гідростатичних тисків приймемо концентрацію насичення рівною 2 г/л. Тоді осмотичний тиск  $\text{CO}_2$  становитиме 0,115 МПа.

Проте умови анаеробного бродіння середовищ не завжди супроводжуються тисками в 0,1 МПа, оскільки різні технологічні задачі вимагають різних рівнів накопичення  $\text{CO}_2$ . Так стандартному вмісту діоксиду вуглецю у пиві відповідає концентрація 4 г/л, а у шампанському – 10 г/л. Названі показники досягаються за рахунок підвищення тисків і одночасного зниження температур середовищ. За збродження без втрат  $\text{CO}_2$  з бражки його концентрація наближалась би до значення  $50 \text{ кг/м}^3$ , а осмотичний тиск за цієї складовою був би близьким до осмотичного тиску етанолу за такої ж концентрації. Однак в реальних умовах і з врахуванням принципу суперпозиції сумарні осмотичні тиски близькі до 5,6 МПа.

Прогнозуючі впливи осмотичних тисків на дріжджові клітини доцільно нагадати, що бактеріостатичні ефекти мають місце в розчинах цукру за концентрації 70 % [1]. При цьому осмотичні тиски в них близькі до 5 МПа, що практично співпадає з відповідними показниками 10-ти відсоткового розчину етанолу.

Перехід дріжджових клітин до бактеріостатичного стану означає неможливість подальшого накопичення у бражці етанолу, що оцінюється важливим недоліком бродильних технологій пов'язаним з енергетичними втратами на процес перегонки, які досягають 50 % від повних витрат первинних енергетичних ресурсів. У зв'язку з цим практично безперервно продовжується пошук можливостей зниження як загальних енерговитрат [2-4], так і витрат

на перегонку [5]. Разом з тим продовжуються спроби одержання раси осмофільних дріжджів, однак помітні успіхи у цьому напрямку відсутні.

Накопичуваний в процесі бродіння етиловий спирт все більше сповільнює і нарешті припиняє процес. Пригнічення життєдіяльності дріжджів наростає за концентрації спирту 6-8 % і супроводжується різким збільшенням кількості забруднюючих метаболітів. У зв'язку з цим існує на рівні принципової схеми зброджування за знижених тисків [4].

На рівні лабораторних досліджень було показано, що перебіг бродіння в умовах вакууму характеризується рядом позитивних наслідків. До останніх відноситься виведення спирту з рідинної фази по мірі його утворення та з наближенням концентрації до нульової. За таких умов швидкість біосинтезу спирту підвищується у 2-3 рази, а життєздатність дріжджів зберігається на початковому рівні. Вихід спирту на одиницю переробленої сировини зберігається на рівні встановлених норм, а гідромодуль можливо встановити на рівні 1:4, що суттєво обмежує можливості розвитку сторонньої мікрофлори. На завершення бродіння за рахунок випару води вміст сухих речовин у бражці досягає 26-30 % з вмістом сирого протеїну у 32-36%, що бражку перетворює на сконцентровану барду.

На виході з бражного апарату концентрація спиртового дистилляту складає 35-40 % [4], що дозволяє спрямувати його безпосередньо на епюрацію, виключивши бражну колону. Однак наведені співвідношення концентрацій спирту у бражці (близько нуля) і у спиртовому дистилляті (35-40 %) здаються дещо сумнівними з точки зору рівноваги в системі з рідинної і парової фаз.

Суміщення процесів бродіння і видалення водо парової суміші може здійснюватися за умови розрідження і переведення середовища в режим кипіння.

Створення парової фази суміші пов'язане з енергетичними витратами, визначення яких здійснюється з врахуванням термодинамічних параметрів.

Наведену інформацію щодо очікуваних переваг від суміщення процесів бродіння і перегонки слід доповнити вказівкою про складність технічної реалізації ідеї у зв'язку з необхідністю забезпечувати умови міцності завакуумованих бродильних апаратів відносно великої ємкості. Поруч з цим існує складність і практична неможливість реалізації ізобаричних умов у середовищі бродильного апарату через гідростатичні тиски. Пояснюється такий висновок тим, що вже на глибині в 1 м середовища зникають можливості його кипіння за тисків, які створюються у газовому просторі. Окрім того утворення парової фази в режимі адіабатного кипіння масою в 1 кг і за масової частки алкоголю в 30 % потребує енерговитрат у кількості

$$\theta = r_e m_e + r_{алк} m_{алк} = 2258 \cdot 0,7 + 840 \cdot 0,3 = 1832,6 \text{ кДж.} \quad (1)$$

Разом з тим зброджування глюкози з одержанням 0,3 кг спирту супроводжується виділенням 551,1 кДж теплової енергії. Очевидно, що небаланс з різницею  $\Delta Q = 1832,6 - 551,1 = 1281,5$  кДж повинен поповнюватися за рахунок додаткового підведення теплової енергії в систему або потрібно здійснювати рекуперативне повернення енергії конденсації у кількості відповідно частки від величини Q.

Аналіз наведеної інформації щодо складності влаштування вакуумованих бродильних апаратів привів до наступних висновків щодо конструктивних особливостей для ліквідації вказаних недоліків:

- для забезпечення ізобаричних умов бродильного середовища його висота повинна бути суттєво обмежена рівно, як і висота самого апарата;
- камера для вакуумної перегонки повинна мати обмежені габарити з примусовим подаванням потоку зброджуваного середовища;
- для підтримання теплового балансу вакуумну камеру доцільно розташувати в середині апарата, рівно, як і конденсатор;
- тепла енергія конденсації водно-парової суміші повинна повертатися в систему за рахунок рекуперації.

У відповідності до цих висновків запропоновано на рівні патенту схему бродильного апарата, який працює наступним чином. Через патрубків підведення живлення заповнюються

об'єми кінцевого днища і циліндричного корпусу середовищем з дріжджами. У процесі бродіння відбувається перетворення цукрів у спирт і діоксид вуглецю у повному об'ємі рідинної фази. Тепло бродіння стабілізується сорочкою охолодження. Для стабілізації концентрації спирту на заданому мінімальному рівні у роботу включається контур середовища з насосом та вакуумною камерою з диспергувальною головкою і шлюзовим затвором з герметичним приводом. Середовище подається у вакуумну камеру, в якій рідинна фаза диспергується та з неї випаровується спирт. Шлюзовий затвор з герметичним приводом призначений для виводу рідинної фази у середовище бродильного апарата. У зв'язку зі зниженням тиску у вакуумній камері до 70 мм рт. ст. досягається кипіння і випаровування спирту при температурі 30 °С і утворення водно-спиртової суміші з концентрацією алкоголю 50...60 %. Стискання цієї суміші вакуум-насосом приводить до підвищення її температури і тиску в результаті чого ця суміш нагрівається і подається у теплообмінник-рекуператор рідинного і парогазового потоків, у якому здійснюється нагрівання рідинного потоку, часткове охолодження парогазового потоку. Передавання останнього у конденсатор забезпечує повну конденсацію водо-спиртової суміші і повернення теплової енергії у бродильне середовище.

Сконденсована суміш подається на перегонку і завдяки високій концентрації спирту в ній досягається енергоекономічний ефект.

Завдяки видаленню спирту з середовища в ньому стабілізується осмотичний тиск, що дозволяє не обмежувати життєдіяльність мікроорганізмів (дріжджів) і подовжити технологічний процес бродіння.

Утворюваний при спиртовому бродінні діоксид вуглецю видалається з бродильного апарата через запобіжний клапан.

По завершенню процесу відпрацьована барда відводиться з апарату через патрубок відведення збродженого середовища.

### **Висновок**

За використання данної пропозиції досягається суміщення у часі процесів бродіння і перегонки. Це означає можливість стабілізації і навіть зниження осмотичних тисків середовищ або досягнення подовження в часі процесів бродіння за безперервного притоку живлення. Вибір технології з безперервним притоком живильних компонентів означає створення високопродуктивної системи. Розрідження, створюване у вакуумній камері, супроводжується адіабатним кипінням середовища, а та обставина, що останній процес стосується розпилювальної рідинної фази, нівелює фізично гідростатичні тиски. Разом з тим відома швидкоплинність теплообміну в умовах адіабатних фазових переходів є вказівкою на високу вірогідність позитивного результату перегонки і видалення з потоку середовища спирту.

### **Література**

1. Соколенко А.І. Моделювання процесів пакування / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний, та ін. – Вінниця: «Нова книга», 2004. – 272 с
2. Маринченко В.О. Технологія спирту / В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян та ін. [Під ред. проф. В.О. Маринченко] – Вінниця: Поділля – 2000. – 2003. – 496 с.
3. Шиян П.Л. Розробка ресурсо- і енергозберігаючої технологій и техніки ректифікації в пищевой промисленности: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора техн. наук: спец. 05.18.07. «Технологія продуктів бродіння» / П.Л. Шиян. – К., 1993. – 32 с.
4. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук [Монографія]. – К. : Видавничий дім «Асканія». – 2000. – 424 с.
5. Малета Б.В. Підвищення ефективності масообміну в колонних апаратах з циклічним рухом фаз. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.12 „Процеси та обл. харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв ” / В.Б. Малета. – К., 2013. – 21 с.