

**Розділ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**УДК 621.798**

**Палаш А.**, к.т.н., директор

**Полтавський коледж харчових технологій (ПКХТ НУХТ) / Україна**

**Піддубний В.**, д.т.н., професор  
Лауреат державної премії України  
в галузі науки і техніки

**Київський національний торговельно-економічний університет / Україна**

**Головкіна Л.**, викладач

**Уманський національний університет садівництва / Україна**

**ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ АЕРОБНОГО БРОДІННЯ**

**Анотація:** у статті показано, що аеробне зброджування цукровмісних середовищ потребує присутності в них розчиненого кисню. Остання умова виконується за рахунок введення і диспергування в рідинній фазі повітря. В дослідженні наведено узагальнення, які стосуються співвідношень динаміки приросту біомаси і корелюються з кількістю введеного в систему кисню. До числа факторів інтенсифікації масообмінних процесів відносять гідродинамічний стан і міжфазну поверхню.

Також показано, що номінальну оцінку гідродинамічного стану газорідинних середовищ слід визначати приведеною швидкістю газової фази.

Показано особливості подвійного впливу температур середовищ в проявах оптимальних щодо мікроорганізмів і щодо розчинності газів у відповідності до закону Генрі, наведено значення констант Генрі. До переліку факторів впливу віднесено такі фізичні параметри середовищ, як в'язкість, поверхневий натяг, осмотичний тиск, гідростатичний тиск, температура.

Визначено, що присутність розчиненого азоту має вплив на гідродинаміку газорідинних середовищ у зв'язку зі змінами гідростатичного тиску в циркуляційних контурах.

**Ключові слова:** аеробне бродіння, розчинений кисень, концентрація, циркуляційний контур, осмотичний тиск, гідродинаміка.

**ВСТУП**

Процеси вирощування хлібопекарських дріжджів та інших аеробних мікроорганізмів здійснюються на живильних середовищах, які вміщують необхідні органічні і мінеральні комплекси, біостимулятори тощо у присутності розчиненого кисню. Результативність цих процесів у значній мірі визначається динамікою співвідношень концентрацій мікроорганізмів, компонентів, кисню, величин осмотичних тисків середовищ тощо.

Метою цього дослідження є оцінка впливів параметрів газорідинних

середовищ в умовах процесів аеробного зброджування цукровмісних середовищ. У статті використано феноменологічні узагальнення на основі відомих законів з математичною формалізацією взаємозв'язків фізичних та термодинамічних параметрів.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Визначальний вплив на приріст біомаси має температура культивування. Її підвищення до оптимальних рівнів при забезпеченні інших умов приводить до зростання приросту біомаси. З переходом на повітряно-приточні методи вирощування хлібопекарських дріжджів за барботажних аераційних систем досягаються концентрації мікроорганізмів на рівнях від 40 до 90 кг/м<sup>3</sup>. Проте більшим значенням концентрацій відповідають погодинні прирости біомаси 9...11 %, а за менших – до 16...17 %. Очевидно, що при цьому принципове значення має абсолютний приріст, оскільки саме він визначає динаміку притоку живлення і навантаження на аераційні системи. Саме можливості останніх у більшості випадків лімітують технологічні процеси [6, 9, 10, 12].

Пояснити це можливо наступним. Ефективність найбільш розповсюджених барботажних систем складає по масі розчиненого кисню по відношенню до маси повітря біля 0,5 % у перерахунку на 1 м висоти апарата. Останнє є наслідком відносно низької розчинності кисню, як фізичної властивості останнього. Порівняння його з азотом в абсолютному обчисленні говорить на користь O<sub>2</sub>, але у зв'язку з тим, що парціальний тиск кисню у повітрі складає лише 21 %, то за аерації сталі насичення на N<sub>2</sub> переважають.

Сучасні заходи щодо розв'язання проблеми пов'язують зі спробами підвищити рівень аерації, тобто за рахунок збільшення потоку повітря, що продувається через середовище за одиницю часу. При цьому продовжується дискусія про помилковість використання характеристики рівня аерації, як кількості повітря у м<sup>3</sup>, що за 1 годину продувається в розрахунку на 1 м<sup>3</sup> середовища. Некоректність її полягає у тому, що такий м<sup>3</sup> рідинної фази може мати висоту 0,5, 1 або більше метрів, що з точки зору інтересів розчинення кисню є зовсім неоднозначним. Консолідована думка дослідників [3, 10] стосувалася пропозиції оцінювати рівень інтенсивності аерації величиною приведеної швидкості газової фази, тобто відношенням об'ємного газового потоку у м<sup>3</sup>/с до площі поперечного перерізу апарата у м<sup>2</sup>, що дає розмірність приведеної швидкості у м/с. Якщо така пропозиція була визнана працівниками галузі по виробництву хлібопекарських дріжджів [5], то в інших галузях (мікробіологічній, бродильній) вона залишилася мало поміченою. Однак за величиною вхідного енергетичного потоку оцінка інтенсивності аерації співпадає з показником приведеної швидкості, що свідчить на користь останньої.

Важливим компонентом роботи апаратів для вирощування хлібопекарських дріжджів є наявність у середовищі поверхнево-активних речовин. Наслідком їх існування є активне піноутворення, існування якого можливо оцінювати подвійно. З одного боку утворення розвинутої коміркової структури забезпечує відносно високий рівень насичення киснем рідинної фракції. Але при цьому різко обмежується масообмін, пов'язаний з іншими компонентами живлення, а

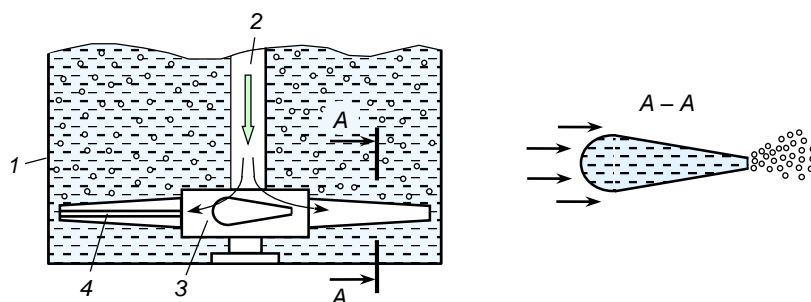
тому такі ж обмеження стосуються приросту тієї частини біомаси, що знаходиться в пінній фракції. Окрім того, зростаючий рівень останньої врешті решт заповнює весь газовий об'єм апарата, що загрожує винесенням піни у витяжну трубу. Для попередження таких наслідків використовують автоматичні системи піногасіння, за сигналом яких в апарат подаються жирні кислоти або їх емульсії, що активно руйнують піну. Однак присутність жирних кислот піногасника помітно впливає на масообмін на міжфазній поверхні, утворюючи на ній моно молекулярний шар плівки додаткового опору.

Таким чином, до загального переліку параметрів впливу на результат синтезу мікроорганізмів слід віднести фізико-хімічні показники середовища, термодинамічні параметри, геометричні співвідношення розмірів апаратів, їх об'єми, величини вхідних енергоматеріальних потоків. Рівень складності співвідношень всього комплексу параметрів потребує послідовного дискретного вивчення впливів та їх оцінок.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Світові тенденції розвитку аераційних систем представлені також аераторами-диспергаторами. Головна ідея їх виконання полягала в тому, що утворення міжфазної поверхні здійснюється на рухомій лопаті, яку активно обтікає рідинна фаза [7, 8] (рис. 1).

Звичайно лопаті виконуються з поздовжніми щілинами на задній частині і ефект подрібнення газової фази залежить від швидкості обтікання їх культуральним середовищем. Таке конструктивне оформлення виглядає суттєво складніше барботажної аераційної системи і складності в значній мірі стосуються експлуатаційних режимів. Приведення в дію ротора в складі повітроводу, колектора і лопатей може здійснюватися від верхнього привода через повітровод, який при цьому виконує роль трубовала. Значна довжина останнього викликає додаткові вимоги до виготовлення, монтажу та експлуатації. У випадку нижнього розташування привода необхідно вирішувати задачу створення і експлуатації ущільнюючих вузлів, що в умовах низьких значень  $pH = 2,8 \dots 4,0$  середовищ є доволі складним.



**Рис. 1.** Схема аератора-диспергатора: 1 – корпус апарата; 2 – повітровод; 3 – колектор; 4 – лопаті

В умовах безвідборних технологій за обмеженого приросту біомаси

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

(9...10 %) досягаються концентрації дріжджів до  $80 \text{ кг/м}^3$ . Але вказана величина погодинного приросту за корисного об'єму апаратів біля  $70 \text{ м}^3$  наближається до аналогічного показника апаратів з барботажною аераційною системою [8, 12].

При цьому окрім величини погодинного приросту біомаси обов'язково має враховуватися вихід готової продукції по сировині. Саме ця характеристика є узагальнюючим індикатором системи по рівню кисню. Збільшення концентрації останнього посилює аеробний характер перебігу процесу синтезу біомаси, обмежуючи напрямок бродіння. Коливання виходу по малясі, що перероблюється, мають доволі широкий діапазон від 60 до 90 %, хоча теоретично в розрахунку на дріжджі 75 %-ої вологості він складає 110 %. З переходом хоча б на часткове анаеробне бродіння в середовищі починає утворюватися етиловий спирт, який активно виноситься газовою фазою і є головною складовою технологічних втрат. Для досягнення найкращого результату зусилля технологів спрямовуються на підтримання мінімальної концентрації цукрів і максимально можливого вмісту кисню. Це означає необхідність використання чутливих засобів визначення технологічних параметрів процесу і керування ними.

У зв'язку з відміченим, саме кисню, розчиненому у середовищі, належить важлива роль регулятора, що і визначає важливість досконалості і ефективності аераційних систем. Паралельно до наукових досліджень мікробіологів та технологів [5, 9] виробництва хлібопекарських дріжджів, як і мікроорганізмів взагалі, існує необхідність поглибленого аналізу всіх складових процесів, які завершуються безпосередньо синтезом біомаси і подальшими етапами її підготовки до товарного виду та реалізації.

У зв'язку з цим зростає вагомість матеріального і енергетичного аудиту, оцінка кожної складової економічних витрат в структурі собівартості продукції. Особливої уваги заслуговує вибір конструкції товарних апаратів. Аналіз показує, що в такому виборі вже на першому кроці, який стосується визначення співвідношень геометричних апаратів і мінімізації витрат матеріалу на циліндричний апарат, то слід зупинитися на рівності його діаметра і висоти, оскільки саме за цих умов досягається мінімізація його поверхні. Але у зв'язку з тим, що в апараті має передбачатися біля 30 % його об'єму для газової фази, це означає, що у рідинній фазі, як і у газорідинній суміші, перевагу буде мати діаметр. Проте при цьому виникають проблеми, пов'язані з досягненням рівномірного розподілу повітря, що подається на аерацію по поперечному перерізу апарата, обмежується величина гідростатичного тиску і пов'язані з ним парціальні тиски кисню в газовій фазі, та сталі насичення киснем, які визначають рушійний потенціал процесу масопередавання. Окрім того, співвідношення висоти і діаметра газорідинного шару впливає на гідродинамічний режим останнього, а рівно і на ефективність масообміну. Однак до цього часу відсутні чіткі визначення впливу вказаного співвідношення на результативність аерації, тому до числа одного із завдань цього дослідження віднесена його оцінка.

Оскільки величини виходів біомаси не перевищують 80 % по масі перероблюваної маляси, або навіть складають 60...70 %, то це визначає необхідність і доцільність удосконалення як аераційних систем, так і апаратів в

цілому, а також технологій вирощування хлібопекарських дріжджів.

На цей висновок наводять, зокрема, міркування про вплив окремих факторів, що супроводжують процеси вирощування мікроорганізмів. Наприклад, за зростання співвідношення висоти до діаметра має місце подвійний вплив. По-перше, зростає середня стала насичення, що йде на користь процесу масопередачі, проте підвищене вилучення кисню в решті решт може привести до того, що на певній висоті середовища концентрація  $O_2$  в газових бульбашках стане близькою до нуля і масообмін киснем припиниться або навіть змінить напрямок. Подвійний вплив також має температура культурального середовища, бо її зростання, наприклад, зменшуючи в'язкість рідинної фази прискорює масообмін, але одночасно зменшує сталу насичення киснем на користь зменшення масопередавання. Щось подібне має місце і у параметрах гідродинаміки, бо зменшення гідростатичного тиску зі спливанням газових бульбашок збільшує їх розміри, а рівно і поверхню масопередавання, але одночасно зростає швидкість відносного руху, що зменшує газовміст або утримувальну здатність по газовій фазі.

Пошук узагальненої оцінки впливів різних фізичних і хімічних факторів звичайно завершують використанням відомої формули масообміну

$$\frac{dM}{dt} = kSF, \quad (1)$$

де:  $k$  – коефіцієнт масопередавання;

$S$  – площа поверхні масопередавання;

$F$  – рушійна сила процесу, що ґрунтується на загальному підході у створенні та використанні лінійних кінетичних рівнянь, які у більшості випадків не охоплюють всю багатогранність і складність явищ.

Такого типу рівняння можуть бути використаними для пошуку напрямків інтенсифікації в передбаченні про незначне відхилення параметрів від стану термодинамічної рівноваги і малості градієнтів потенціалів перенесення. Для аналізу нелінійних співвідношень між потоками перенесення і градієнтом потенціалу слід використовувати підходи і принципи термодинаміки незворотних процесів. Це означає, що пропорційність між параметрами  $M$ ,  $k$ ,  $S$  і  $F$  зникає і на разі виникає необхідність уточнення наведеної залежності. На це ж вказують і наведені раніше висновки щодо подвійних впливів окремих термодинамічних факторів на масообмін. На особливу увагу заслуговує вплив температур на масообмін і режими культивування мікроорганізмів.

Технології харчових і мікробіологічних виробництв мають у своєму арсеналі сучасні уявлення про атомно-молекулярне вчення, хімічні зв'язки і будову молекул, внутрішній устрій рідин, твердих тіл, біологічних структур, природу розчинів, дисперсних систем, колоїдів, хімічну термодинаміку тощо. Хімічні перетворення здійснюються з виділенням або поглинанням енергії. У більшості випадків така енергія є тепловою.

В процесах біосинтезу має місце розпад і синтез нових речовин, які відбуваються в рідинних середовищах з підтриманням відповідних енергетичних, матеріальних і у сучасному розумінні інформаційних балансів. З одного боку необхідно витримувати на оптимальному рівні концентрацію

живильних речовин, біостимуляторів, розчиненого кисню, але з іншого боку на концентрацію розчинених речовин накладаються обмеження, пов'язані з потенціалом осмотичного тиску, який на напівпроникних мембранах або оболонках перетворюється власне у осмотичні тиски.

Бажання задовольнити вказані двосторонні вимоги привели до створення так званих "приточних схем" вирощування мікроорганізмів або до процесів синтезу останніми спеціальних речовин.

При цьому подавання живильних компонентів у середовища здійснюється з врахуванням динаміки приросту біомаси в абсолютному обчисленні. Останнє означає, що враховуватися має не тільки коефіцієнт приросту, а і концентрація біомаси в культуральному середовищі.

Використовуються кілька способів визначення швидкості приросту біомаси, однак життєдіяльність мікроорганізмів тісно пов'язана з умовами активності. Саме тому математичним узагальненням майже неможливо охопити біологічні культури з неоднаковою ферментативною активністю. Однак в ідеалі можливо орієнтуватися на експоненціальну модель, за якою

$$m = m_0 e^{k\tau}, \quad (2)$$

де:  $m$  – маса мікроорганізмів в кінці процесу;

$m_0$  – початкова кількість біомаси;

$k$  – коефіцієнт швидкості накопичення біомаси;

$\tau$  – час пророщування.

Створення повітряно-приточних схем вирощування дріжджів і мікроорганізмів взагалі супроводжувалося намірами приведення до оптимальних факторів впливу на процеси. Очевидно, що швидкість приросту біомаси залежить від осмотичного тиску культуральних середовищ, який створюється присутністю в них як цукрів, так і нецукрів та інших хімічних елементів та їх сполук. Осмотичний тиск середовища повинен бути меншим за тиск клітинного соку мікроорганізмів, завдяки чому покращуються умови масообміну і засвоєння живильних речовин. Існує наукова і емпірична інформація про те [3, 9], що зі збільшенням вказаної різниці осмотичних тисків швидкість накопичення біомаси зростає. На існуючий вплив осмотичних тисків середовищ також вказує певна кореляція цього показника з концентрацією сухих речовин в клітинному соку.

Погодинний приріст біомаси в процесах її синтезу також узгоджується з показниками осмотичних тисків. Так за концентрації сухих речовин в розчинах на рівні 5 % погодинний приріст біомаси досягає 16...17 %, а зі збільшенням концентрації СР до 7...8 % приріст не перевищує 11...12 %.

Разом з тим природними є різні рівні впливу осмотичних тисків на різновиди мікрофлори. Так висока концентрація СР гальмує і обмежує ріст дріжджових грибів-нецукроміцетів.

Окрім того, недоліки, пов'язані з обмеженням швидкості приросту мікробних культур, можуть бути подолані за рахунок підвищення накопичень біомаси. Останнє також дає можливість варіації температури процесу. При цьому слід мати на увазі певні перспективи впливу на швидкість розчинення кисню в процесах аерації.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Молекулярно-кінетична теорія газів і рідин дає можливість підрахувати число ударних взаємодій між молекулами тих чи інших речовин за визначених умов. Якщо скористатися результатами таких підрахунків, то виявиться настільки висока частота взаємодій, що реакції повинні протікати миттєво. Однак насправді далеко не всі реакції і взаємодії завершуються так швидко завдяки їх обмеженому енергетичному підґрунтю, якому надали назву енергії активації [2, 4]. Підвищення температури середовища супроводжується зростанням кількості активних молекул, що завершується прискоренням хімічних і біохімічних реакцій.

Мікроорганізми цукроміцети вирощують в широкому діапазоні температур, хоча їх оптимальна температура близька до 30 °С і зниження цього показника приводить до зменшення швидкості росту. Однак і підвищення температури до 34...40 °С гальмує їх приріст та розмноження і окрім того вказаний інтервал наближає температуру до оптимальної для нецукроміцетів. Останні мають швидкість розмноження, яка у 5...7 разів перевищує цей показник цільової культури. У зв'язку з відміченим слід зробити висновок про доцільність деякого зниження температури культивування мікроорганізмів, компенсуючи зниження приросту за рахунок підвищення концентрації (накопичень) біомаси.

Ця пропозиція заслуговує на увагу ще за додаткового наслідку, пов'язаного з розчинністю кисню у зв'язку з температурою рідинного середовища. Не вдаючись в аналіз фізичного підґрунтя цього явища, нагадаємо лише про те, що константа Генрі у відповідному законі [7] зростає саме зі зниженням температури. Відображення вказаного взаємозв'язку у рівнянні масоперенесення стосується сталої насичення  $c_n$ , а рівно і рушійного фактора масопередавання.

Таким чином, вирішуючи завдання інтенсифікації масообміну в культуральних середовищах, доцільно виконати аналіз впливу на процес вибору такого параметра, як температура.

В табл. 1 наведено дані, які стосуються значень констант Генрі  $k_n$  для азоту і кисню з розмірністю  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$  з урахуванням питомої маси кисню  $\rho_{\text{O}_2} = 1,429$  і азоту  $\rho_{\text{N}_2} = 1,251 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а у табл. 2 – дані щодо масової розчинності азоту та кисню за умови аерації води повітрям [11].

**Таблиця 1**

*Значення констант Генрі  $k_n$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{МПа})$*

Газ	Температура, °С							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	0,294	0,261	0,233	0,21	0,193	0,179	0,168	0,148
Кисень	0,699	0,613	0,543	0,487	0,443	0,404	0,373	0,298

Таблиця 2

Значення масових розчинностей газів у воді (кг/м<sup>3</sup>) при парціальних тисках азоту  $P_{N_2} = 0,078$  і кисню  $P_{O_2} = 0,021$  МПа

Газ	Температура, °С							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Азот	0,022	0,02	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,011
Кисень	0,014	0,012	0,011	0,01	0,009	0,008	0,007	0,006

На рис. 2 відображено графічну залежність розчинності азоту та кисню в залежності від температури.

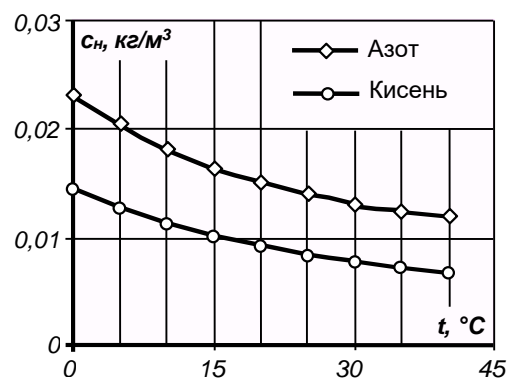


Рис. 2. Графіки залежності розчинності азоту та кисню від температури при аерації води повітрям

За показником сталої насичення  $c_n$  перехід від температури культивування 30°C до температури 20 °С приводить за інших рівних умов до збільшення рушійного параметра масопередавання на

$$\frac{0,009 - 0,007}{0,007} \cdot 100 = 28,6 \% .$$

## ВИСНОВКИ

Виконані аналіз сучасного стану проблеми і дослідження дозволяють зазначити наступне.

Зниження температури середовища супроводжується зміною таких показників рідинної фази, як в'язкість і поверхневий натяг. Останні два параметри мають вплив на динаміку формування міжфазної поверхні та її величину, а також на дифузійне і конвективне масоперенесення в обох фазах.

З порівняння даних видно, що коефіцієнт Генрі по кисню суттєво переважає аналогічний показник по азоту, однак за показником масової розчинності переважає азот. Це пояснюється тим, що парціальний тиск азоту в повітряній суміші більший за парціальний тиск кисню у 3,714 рази.

Масообмінні процеси по азоту в газорідинній системі майже локалізовані, що пояснюється насиченням рідинної фази  $N_2$ , оскільки його споживач



відсутній. Прояви масообмінних процесів по азоту можливі лише за рахунок гідростатичного тиску у зв'язку з циркуляцією у вертикальних контурах. Разом з тим стан насичення на  $O_2$  практично не досягається і величина  $c_n$  означає лише потенціал системи.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. Москва: Пищевая промышленность, 1978. 267 с.
- [2] Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах. Одесса, 2008. 348 с.
- [3] Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратурного оформления: автореф. дисс. д-ра техн. наук. Киев: КТИПП, 1984. 49 с.
- [4] Глинка Н.Л. Общая химия. Ленинград: Химия, 1984. 704 с.
- [5] Новаковская С.С., Шишацкий Ю.И. Справочник по производству хлебопекарных дрожжей. Москва: Пищевая промышленность, 1980. 375 с.
- [6] Пирог Т.П., Ігнатенко С.В., Тарасенко Д.О. Ключові проблеми промислового одержання мікробних поверхнево-активних речовин // Харчова промисловість. 2008. № 7. С. 32-36.
- [7] Піддубний В.А. Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв: автореф. дис. д-ра техн. наук. Київ: НУХТ, 2008. 47 с.
- [8] Плевако Е.А. Технология дрожжей. Москва: Пищевая промышленность, 1970. 300 с.
- [9] Семихатова Н.М., Лозенко М.Ф., Белова Л.Д. и др. Производство хлебопекарных дрожжей. Москва: ВО Агропромиздат, 1987. 272 с.
- [10] Соколенко А.И. Исследование процессов аерации питательных сред и разработка новых конструкций дрожжерастильных аппаратов: дисс. канд. техн. наук. Киев: КТИПП, 1972. 171 с.
- [11] Справочник химика. Т. 3. Ленинград: Химия, 1965. 1005 с.
- [12] Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. Киев: Професионал, 2004. 704 с.

### **TECHNICAL SUPPORT OF AEROBIC FERMENTATION PROCESSES**

**Palash A., PhD., Assoc. Professor**      **Poltava College of Food Technology,  
director / Ukraine**

**Piddubny V., DThSc., Prof.,  
Winner of the State Prize of  
Ukraine in Science and Technology**      **Kyiv National University of Trade and  
Economics, Professor of Technology  
and Organization of Restaurant  
Management / Ukraine**

**Golovkina L.**      **Uman National University of  
Horticulture, Lecturer in the Department  
of Applied Engineering / Ukraine**

**Abstract:** *the article shows that aerobic fermentation of sugar-containing media requires the presence of dissolved oxygen in them. In most cases, the latter condition is fulfilled by the introduction and dispersion in the liquid phase of the air, which is compressed to levels corresponding to hydrostatic pressures with some exaggeration. The formation of the dispersed gas phase is accompanied by the*

*interaction of the inlet air and the liquid phase, the efficiency of which is determined by the formed contact surface. The study presents generalizations that relate to the dynamics of biomass growth and correlate with the amount of oxygen introduced into the system. It is important that oxygen refers to gases with limited solubility, and therefore the hydrodynamic state and the interfacial surface are among the factors of intensification of mass transfer processes.*

*It is also shown that the nominal estimation of the hydrodynamic state of gas-liquid media should begin with an assessment of the aeration intensity and it is proposed to take the reduced gas phase velocity as the ratio of the volume air flow to the cross-sectional area of the apparatus. Turning to the indicator of the reduced speed negates the influence of geometrical parameters in the form of the ratio of height and diameter.*

*The results of the process and the efficiency of the equipment used are determined by the performance indicators in the form of concentrations of microorganisms and the output rate of the input power supply. The combination of these requirements leads to the need to combine the maximum achievable concentrations of dissolved oxygen and the minimum concentrations of sugars.*

*The features of the double influence of ambient temperatures in the manifestations of the optimal for microorganisms and for the solubility of gases in accordance with Henry's law are shown, the values of Henry constants are given. The list of factors of influence includes such physical parameters of the environment as viscosity, surface tension, osmotic pressure, hydrostatic pressure, temperature.*

*It is determined that the presence of dissolved nitrogen has an influence on the hydrodynamics of gas-liquid media due to changes in hydrostatic pressure in the circulation circuits.*

**Keywords:** *aerobic fermentation, dissolved oxygen, concentration, circulating circuit, osmotic pressure, hydrodynamics.*

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Becker, M.E. (1978). *Introduction to biotechnology*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [2] Burdo, O.G., & Kalinin, L.G. (2008). *Applied modeling of transfer processes in technological systems*. Odessa. (in Russian).
- [3] Gandyuk, M.P. (1984). *Improvement of the process of cultivation of baker's yeast and its hardware design*: author. diss. Dr. Tech. Sciences. Kiev: KTIPP. (in Russian).
- [4] Glinka, N.L. (1984). *General chemistry*. Leningrad: Chemistry. (in Russian).
- [5] Novakovskaya, S.S., & Shishatsky, Yu.I. (1980). *Baker's yeast production directory*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [6] Purog, T. P., Ignatenko, S. V., & Tarasenko, D. O. (2008). Key problems of industrial production of microbial surfactants. *Food Industry*, 7, 32–36. (in Ukrainian).
- [7] Poddubny, V.A. (2008). *Scientific bases and equipment of transitional processes of food and microbiological industries*: author. Dr. Tech. Sciences. Kiev: National University Of Food Tehnologies. (in Ukrainian).
- [8] Plevako, E.A. (1970). *Yeast technology*. Moscow: Food Industry. (in Russian).
- [9] Semikhatova, N.M., Lozenko, M.F., & Belova, L.D. (1987). *Production of baker's yeast*. Moscow: VO Agropromizdat. (in Russian).
- [10] Sokolenko, A.I. (1972). *Research of processes of aeration of nutrient media and development of new designs of yeast plants*: diss. Cand. tech. Sciences. Kiev: KTIPP. (in Russian).
- [11] Chemist's Directory. (1965). Vol. 3. Leningrad: Chemistry. (in Russian).
- [12] Timanyuk, V.A., & Zhivotova, E.N. (2004). *Biophysics*. Kiev: Professional. (in Russian).

**Стаття надійшла до редакції 30.10.2019**