

УДК 663.1

INNOVATIONS IN EQUIPMENT FOR AEROBIC SYNTHESIS OF MICROORGANISMS

K. Vasykivsky, M. Yukhno, V. Kostyuk*National University of Food Technologies***V. Piddubny***Kyiv National University of Trade and Economics*

Key words:

aerobic synthesis,
yeast,
fermentation,
sugar-bearing sediments,
circulatory contour,
energy potential,
bubbling system

Article history:

Received 23.10.2018

Received in revised form

09.11.2018

Accepted 19.11.2018

Corresponding author:

mif63@i.ua

ABSTRACT

The article presents the results of in-depth analysis of the peculiarities of the flow and organization of processes of aerobic fermentation of sugar-containing media with the use of yeast-sucrose. The effectiveness of these processes is determined by the dynamics of the ratios of nutritional components, dissolved oxygen, osmotic pressure and temperature. In baking yeast synthesis technologies, critical levels are associated with concentrations of dissolved oxygen. The difficulty of introducing it into a liquid fraction is associated with its limited solubility. The information on the features of mass transfer on the boundary between the separation of gas and liquid fractions, the causes of circulating circuits formation on the basis of the dispersed gas phase is given, comparing aerator dispersants, bubble systems of aeration of one-level, multi-level and combined ejection and bubbling systems.

The dependences, which determine the energy potential of the formation of the phase surface in gas-like environments, are proposed.

It is shown that the variable dynamics of biomass growth of microorganisms at the stages of the lag phase and the logarithmic phase leads to the need to maintain an oxygen balance so that its concentration in the liquid fraction of the medium is maintained at about 25% of the saturation state.

The limited solubility of oxygen leads to the need for continuous aeration of environments with the addition of its technical measures to intensify on the interphase surface. Such measures correspond to the uniformity of the distribution of bubbling elements and the dispersed gas fraction, respectively, in the cross section of the fermentation apparatus, increase of gas retention capacity due to the creation of circulating circuits of alternating directions, the transfer of the media to the modes of transients, the change in the pressure in the gas fraction in the superfine volume, the use of combined aeration systems.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-16

ІННОВАЦІЇ В ОБЛАДНАННІ ДЛЯ АЕРОБНОГО СИНТЕЗУ МІКРООРГАНІЗМІВ

К.В. Васильківський, канд. техн. наук

М.І. Юхно, канд. техн. наук

В.С. Костюк, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

В.А. Піддубний, д-р техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, Україна

У статті наведено результати поглибленого аналізу особливостей перебігу і організації процесів аеробного зброджування цукровмісних середовищ із застосуванням дріжджів-цукроміцетів. Запропоновано кількісні показники масових потоків оцінювати показниками приведеної швидкості газової фази. Наведено інформацію про особливості масопередачі на межі поділу газової і рідинної фракцій, причини утворення циркуляційних контурів на основі диспергованої газової фази, проведено порівняння аераторів-диспергаторів, барботажних систем аерації однорівневих, кількарівневих та комбінованих ежекційних і барботажних систем.

Відмічається доцільність переорієнтації циркуляційних контурів і створення режимів перехідних процесів, відгуком систем на які є змінні показники гідродинаміки, поява додаткових силових впливів у формі сил інерції та інтенсифікація масообмінних процесів. Запропоновано залежності, якими визначаються енергетичні потенціали утворення міжфазної поверхні в газорідних середовищах.

Ключові слова: аеробний синтез, дріжджі, зброджування, цукровмісні середовища, циркуляційний контур, енергетичний потенціал, барботажна система.

Постановка проблеми. Процеси вирощування хлібопекарських дріжджів та інших аеробних мікроорганізмів здійснюються на живильних середовищах, які вміщують необхідні органічні і мінеральні комплекси, біостимулятори тощо за наявності розчиненого кисню. Результативність цих процесів значною мірою визначається динамікою співвідношень концентрацій мікроорганізмів, компонентів, кисню, величин осмотичних тисків середовищ тощо [1—3].

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/м³. 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. Можливості останніх у більшості випадків лімітують технологічні процеси.

Пояснити це можливо тим, що ефективність найбільш розповсюджених барботажних систем складає по масі розчиненого кисню стосовно маси повітря близько 0,5% у перерахунку на 1 м висоти середовища. Останнє є наслідком відносно низької розчинності кисню як фізичної властивості останнього. Порівняння його з азотом в абсолютному обчисленні свідчить на користь O₂, але у зв'язку з тим, що парціальний тиск кисню у повітрі складає лише 21%, то за аерації сталі насичення на N₂ переважають.

Сучасні спроби розв'язання проблеми пов'язують з підвищенням рівня аерації, тобто за рахунок збільшення повітря, що продувається через середовище за одиницю часу. При цьому ще у 70-і роки минулого століття розпочалася дискусія про помилковість використання характеристики рівня аерації, як кількості повітря у м^3 , що за 1 год продувається в розрахунку на 1 м^3 середовища. Некоректність її полягає у тому, що такий м^3 рідинної фази може мати висоту 0,5, 1 або більше метрів, що з точки зору інтересів розчинення кисню є зовсім неоднозначним. Консолідована думка дослідників того часу [4; 5] стосувалася пропозиції оцінювати рівень інтенсивності аерації величиною приведеної швидкості газової фази, тобто відношенням об'ємного газового потоку у $\text{м}^3/\text{с}$ до площі поперечного перерізу апарата у м^2 , що дає розмірність приведеної швидкості у $\text{м}/\text{с}$. Якщо на той час така пропозиція була визнана працівниками галузі з виробництва хлібопекарських дріжджів, то в інших галузях (мікробіологічній, бродильній) вона залишилася мало поміченою.

Однак за величиною вхідного енергетичного потоку оцінка інтенсивності аерації збігається з показником приведеної швидкості, що свідчить на користь останньої.

Мета дослідження: узагальнення інформації щодо особливостей масо- та енергообмінних процесів у газорідних культуральних аеробних середовищах і оцінка напрямків їх удосконалення та інтенсифікації.

Методи дослідження: феноменологічна оцінка енергообмінних процесів у культуральних середовищах на основі сучасної інформації про їх технологічні й технічні складові з урахуванням законів Генрі, Архімеда та законів збереження мас і енергії.

Викладення основних результатів дослідження. 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 збільшення рівня 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 втратами піни через витяжну трубу. Щоб запобігти таким наслідкам, використовують автоматичні системи піногасіння, за сигналом яких в апарат подаються жирні кислоти або їх емульсії, що активно руйнують піну. Однак наявність жирних кислот піногасника помітно впливає на масообмін на міжфазній поверхні, утворюючи на ній мономолекулярний шар плівки додаткового опору.

Світові тенденції розвитку аераційних систем представлені також аераторами-диспергаторами. Головна ідея їх виконання полягає в тому, що утворення міжфазної поверхні здійснюється на рухомій лопаті, яку активно обтікає рідинна фаза [6] (рис. 1).

Зазвичай, лопаті виконуються з поздовжніми щілинами на задній частині і ефект подрібнення газової фази залежить від швидкості обтікання їх культуральним середовищем. Таке конструктивне оформлення складніше ніж барботажна аераційна система і складність значною мірою стосується експлуатаційних режимів. Приведення в дію ротора в складі повітроводу, колектора і

лопатею може здійснюватися від верхнього привода через повітровод, який при цьому виконує роль трубовалу. Значна довжина останнього викликає додаткові вимоги до виготовлення, монтажу та експлуатації. У випадку нижнього розташування привода необхідно вирішувати завдання створення й експлуатації ущільнювальних вузлів, що в умовах низьких значень рН = 2,8...4,0 середовища є доволі складним.

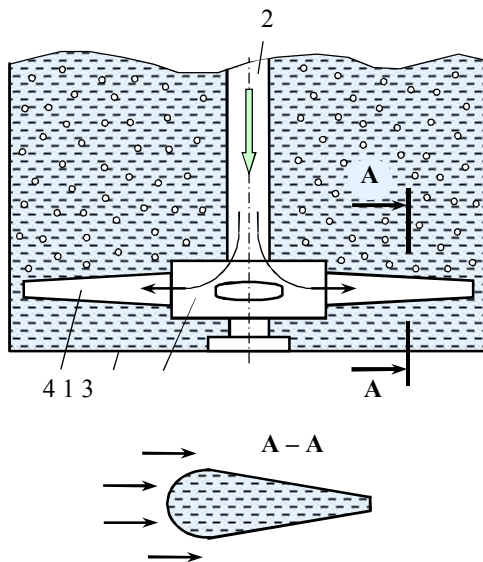


Рис. 1. Схема аератора-диспергатора:

1 — корпус апарата; 2 — повітровод; 3 — колектор; 4 — лопаті

Однак, незважаючи на такі недоліки, в Україні знайшли застосування подібні апарати, які експлуатуються в промисловості. В умовах безвідбірних технологій за обмеженого приросту біомаси (9...10%) досягаються концентрації дріжджів до 80 кг/м³. Але вказана величина погодинного приросту за корисного об'єму апаратів близько 70 м³ наближається до аналогічного показника апаратів з барботажною аераційною системою.

При цьому, окрім величини погодинного приросту біомаси, враховується 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 напрямом бродіння. Коливання виходу по малясі, що перероблюється, мають доволі широкий діапазон від 60 до 90%, хоча теоретично в розрахунку на дріжджі 75-відсоткової 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 й визначає важливість досконалості та ефективності аераційних систем. Паралельно до наукових досліджень мікробіологів і

технологів виробництв 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 й енергетичного аудиту, оцінка кожної складової економічних витрат у структурі собівартості продукції. На особливу увагу заслуговує вибір конструкції товарних апаратів. Аналіз показує, що в такому виборі вже на першому кроці, який стосується визначення співвідношень геометричних параметрів апаратів і мінімізації витрат матеріалу на циліндричний апарат, слід зупинитися на рівності його діаметра і висоти, оскільки саме за цієї умови досягається мінімізація його поверхні. Але у зв'язку з тим, що в апараті близько 30% його об'єму має передбачатися для газової фази, це означає, що в рідинній фазі, як і в газорідинній суміші, перевагу буде мати діаметр. Проте при цьому виникає проблема досягнення 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 масопередачі. Окрім того, співвідношення висоти і діаметра газорідинного шару впливає на гідродинамічний режим останнього, а отже, і на ефективність масообміну. Однак до цього часу відсутні чіткі визначення впливу вказаного співвідношення на результативність аерації.

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 обмеженою і масообмін киснем припиниться. По-друге, 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 масопередачі. Щось подібне має місце і в параметрах гідродинаміки, бо зменшення гідростатичного тиску зі спливанням газових бульбашок збільшує їх розміри, а отже, і поверхню масопередачі, 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, завершується використанням відомої формули масообміну:

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

де k — коефіцієнт масопередачі; S — площа поверхні масопередачі; 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 використані 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 наразі виникає необхідність уточнення наведеної залежності. На це ж вказують і наведені раніше висновки щодо подвійних впливів окремих термодинамічних факторів на масообмін.

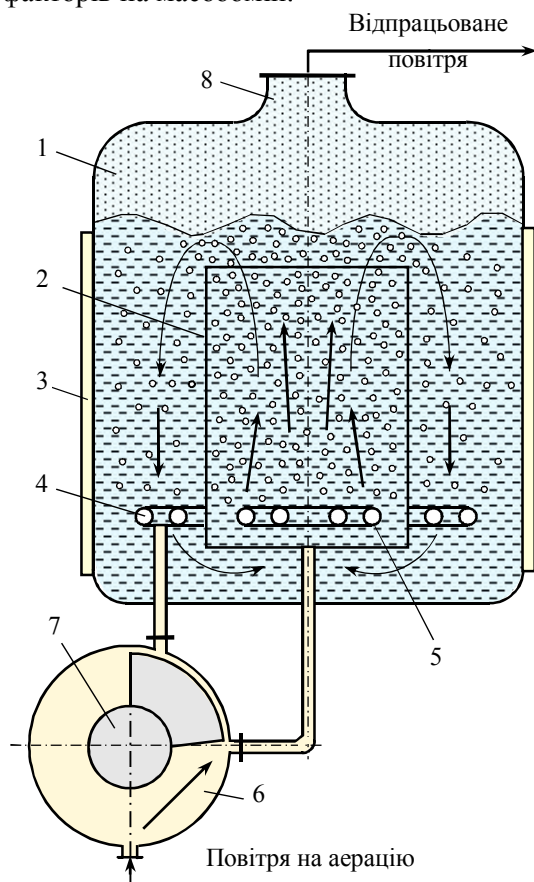


Рис. 2. Схема апарата зі змінними контурами циркуляції: 1 — корпус апарата; 2 — дифузор; 3 — сорочка охолодження; 4 — периферійна барботажна система; 5 — центральна барботажна система; 6 — розподільник повітря; 7 — сектор розподільника; 8 — витяжна труба

перерозподілу енергетичних потоків, за якою від 60 до 70% енергетичних витрат припадає саме на циркуляційні контури.

Розуміння такого становища у значній кількості випадків підштовхувало до спроб використання цієї енергетичної складової на користь масообміну. Слід додатково звернути увагу на те, що кінематичні параметри газорідного сере-

Результатом введення в рідину фазу газової складової є виникнення активних вертикальних циркуляційних контурів, які також мають подвійний вплив на результати масообміну і технологічний процес взагалі. Їх існування приводить культуральне середовище до стану, близького до того, яке відповідає реактору ідеального змішування, вирівнюючи в ньому концентрацію всіх складових. Але разом з тим існування таких контурів спричиняє зростання абсолютної швидкості газової фази у 2 і навіть 3 рази, порівняно зі швидкістю відносного руху. Адже саме остання визначає швидкість оновлення поверхні масопередачі на межі поділу фаз на рівні рідинних плівок, в яких чиниться головний опір масопередачі для малорозчинних газів. У зв'язку з цим велися пошуки в напрямку створення аераційних систем рівномірного розподілу газової фази [7]. Разом з тим існування потужних циркуляційних контурів означає помітний перерозподіл вхідного енергетичного потоку на їх користь. Кінцевим результатом тут є енергетичні і економічні витрати на охолодження середовищ. У дослідженні [8] наведена оцінка співвідношення

довища оцінюються як наближено стабільні. Переведення їх до режимів, характерних для перехідних процесів, слід оцінювати як перспективний напрямок інтенсифікації масообміну. Такий підхід реалізується в розробках авторів, що працюють в НУХТ [9] (рис. 2).

Згідно з корисною моделлю барботаажний аераційний пристрій виконано у вигляді центральної кільцевої частини, змонтованої в нижній частині дифузора та периферійної частини, встановленої між корпусом і дифузором зі з'єднанням обох частин подільником потоку повітря. При цьому подільник по чергово підводить повітря то в центральну, то в периферійні частини аераційної системи, змінюючи таким чином спрямованість циркуляційних контурів. Результатом таких дій є зростання утримувальної здатності по газовій фазі та інтенсифікація тепло-масообмінних процесів.

Намагання використати кінетичну енергію циркуляційних контурів за рахунок їх взаємодії з вхідним газовим потоком зі збільшенням рівня дисперсної газової фази знайшло своє відображення в розробці [10] (рис. 3).

На думку розробників, виконання трубчастого барботаажного пристрою отворами донизу назустріч рідинному циркуляційному контуру дає можливість інтенсифікувати тепломасообмінні процеси, зменшити енергетичні витрати і витрати стиснутого повітря. Останнє подається в трубчастий аераційний барботаажний пристрій 2. У зоні аерації має місце взаємодія між вхідним газовим потоком m_g і рідинним потоком m_p циркуляційного контуру, який у дифузори 4 є висхідним. Рівень силової енергетичної взаємодії визначає ступінь дисперсності газової фази в рідинній, величину міжфазної поверхні і ефективність тепло-масообмінних процесів. При цьому потужність енергетичної взаємодії потоків пропорційна приведеній масі системи і квадрату швидкостей газової w_g та рідинної w_p фаз, і втрата кінетичної енергії на удар для однонаправлених потоків дорівнюватиме:

$$\Delta E = \frac{m_p m_g}{2(m_p + m_g)} (w_p - w_g)^2. \quad (2)$$

А для різнонаправлених:

$$\Delta E = \frac{m_p m_g}{2(m_p + m_g)} (w_p + w_g)^2. \quad (3)$$

За випадку взаємодії рідинного і газового потоків величина ΔE визначає енергетичний потенціал утворення міжфазної поверхні. Саме тому спрямування потоків у зоні їх взаємодії доцільно мати протилежним.

Забезпечення процесу аерації культуральних середовищ пов'язане з необхідністю стискання повітря до значень, які перевищують величини гідростатичних тисків на рівнях розташування барботаажних елементів. Процеси стискання здійснюються у більшості на осьових компресорах у кілька ступенів і їх вважають наближеними до адіабатних. Тиски, які при цьому досягаються, складають кілька метрів і максимально кілька десятків метрів водяного стовпчика. При цьому температури стиснутого повітря залежать саме від тисків. Вони залежно

від температури забірною повітря можуть мати величини від 50 до 100°C і більше. Очевидно, що цей параметр визначає у певному співвідношенні величину енергетичного потенціалу повітря і при цьому виникає можливість і доцільність охолодження саме його, а не газорідного середовища, яке має температуру близько 30°C. Однак остаточний висновок про доцільність того чи іншого напрямку у виконанні задачі стабілізації температури в апараті можливо зробити лише на основі аналізу теплового балансу.

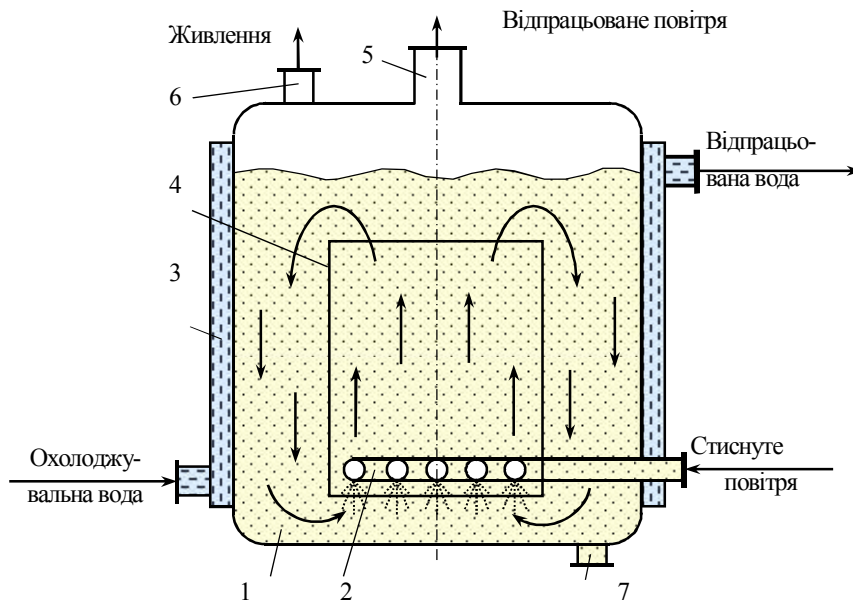


Рис. 3. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів:

1 — реактор; 2 — трубчастий аераційний барботажний пристрій; 3 — охолоджувальна сорочка; 4 — дифузор; 5 — витяжна труба; 6 — патрубок підведення живлення; 7 — патрубок відведення культурального середовища

Автори розробки патенту № 25649 запропонували нетрадиційний шлях реалізації аераційної системи [11] (рис. 4), за яким пропонується барботажний аераційний пристрій розташувати у внутрішній частині дифузора в різних рівнях з об'єднанням їх загальним колектором повітроводу. Робота масообмінного апарата відбувається так: стиснуте повітря подається в центральний повітровод 5 з тиском, що може подолати тиск над верхнім барботажним пристроєм. Потрапляючи в колектор 4 верхнього барботажного пристрою 3, стиснуте повітря контактує з рідинною фазою, створюючи висхідну газорідну частину циркуляційного контуру в дифузорі 2, знижуючи гідростатичний тиск над верхнім барботажним пристроєм і загальний гідростатичний тиск у дифузорі. Результатом цього є барботаж газової фази через середній барботажний пристрій і подальше зростання газотримувальної здатності та зниження загального гідростатичного тиску в дифузорі і, як наслідок, барботаж газу через нижній барботажний пристрій.

При цьому поза увагою авторів залишається та обставина, що ступінчасте введення газової фази, по-перше, супроводжується розосередженням зон утворе-

ння міжфазної поверхні, яке слід оцінювати явно позитивно з точки зору інтересів масообміну і, по-друге, виникає ступінчаста зміна показника газотримувальної здатності в зонах між барботажними елементами і над верхнім барботажним пристроєм. В умовах нерозривності рідинного потоку в дифузорі має виникати таке ж ступінчасте змінення швидкості самої рідинної фази і, одночасно, газорідинної суміші. Але ж ступінчасте змінення швидкості в механіці, аеро- і гідромеханіці оцінюється як зміна прискорення теоретично на величину, що прагне до нескінченності. Це означає безперервну генерацію силових впливів, які слід віднести до масових або сил інерції. Зрозуміло, що завдяки пружним властивостям газорідинної системи такі силові впливи не наближаються до нескінченності, проте їх вплив на загальний результат буде обов'язковим. У загальній оцінці таке конструктивне рішення має значні перспективи, незважаючи на його зовнішню простоту. При цьому слід мати ще одну очікувану перевагу, пов'язану з можливістю загального зниження тиску в повітродувній машині та системі повітропостачання. До речі, в літературі відсутні хоча б теоретичні розрахунки оцінки енергетичної доцільності роботи повітродувних машин такого призначення з різними вихідними тисками.

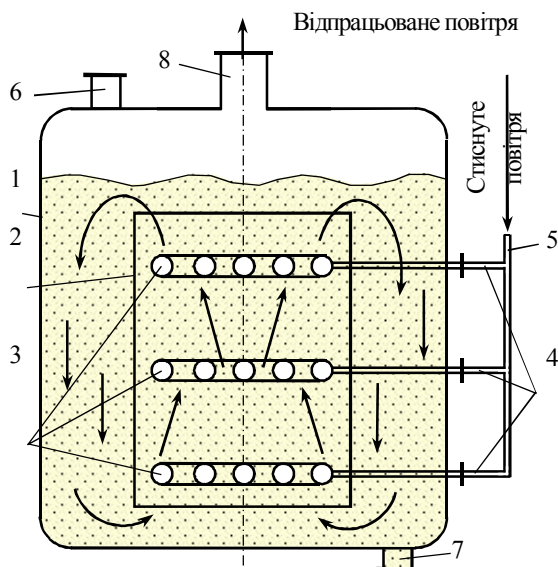


Рис. 4. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів:

1 — реактор; 2 — дифузор; 3 — барботажні аераційні пристрої; 4 — колектори; 5 — центральний повітровод; 6 — патрубок підведення рідинного середовища; 7 — патрубок відведення рідинного середовища; 8 — витяжна труба

Виникнення циркуляційних контурів у газорідинних середовищах є наслідком порушення умови ізопотенціальності локальних зон за показником потенціальної енергії набухлого шару. Саме його потенціальна енергія трансформується в кінетичну енергію потоків, яку доцільно взяти під контроль і цільове організоване використання [12] (рис. 5).

Згідно з винаходом нижня горизонтальна частина повітровоуду виконана у вигляді ежекційного пристрою, камера розрідження якого з'єднана з циркуляційною трубою, врізаною в реактор на висоті набухлого шару культурального

середовища. В барботаажний аераційний пристрій 2 через ежекційний пристрій 6 підводиться стиснуте повітря. В зоні аерації утворюється диспергована у рідинному середовищі газова фаза у формі бульбашок, які під дією архімедових сил піднімаються і газорідинний шар в результаті наявності газової фази набухає. По циркуляційній трубі 5 здійснюється опускання рідинної фази під дією гідростатичного тиску і розрідження в камері 7 ежектора. Активний масообмін в ежекторі 6 приводить до додаткового насичення рідинної фази киснем, в результаті чого рівень використання кисню по газовій фазі підвищується до 5...6%. Зростання рівня кисню в культуральному середовищі активізує динаміку приросту біомаси і підвищує вихід мікроорганізмів.

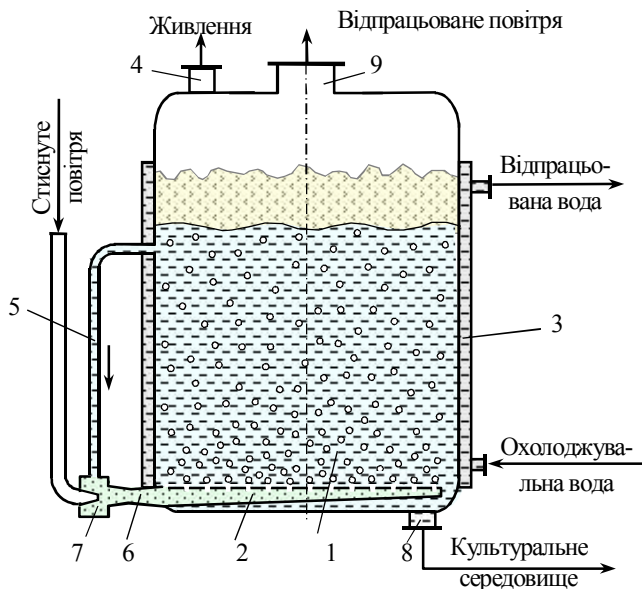


Рис. 5. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів:

- 1 — реактор; 2 — барботаажний аераційний пристрій; 3 — охолоджувальна сорочка
 4 — патрубок підведення живлення; 5 — циркуляційна труба; 6 — ежекційний пристрій;
 7 — камера розрідження; 8 — патрубок відведення рідинного середовища; 9 — витяжна труба

Принципово ця конструкція близька до розробки за авторським свідоцтвом СРСР № 322362, але має помітну перевагу, оскільки в схемі відсутній циркуляційний насос, який накладає суттєві обмеження на кратність циркуляції. У випадку ж розробки по патенту № 33120 такі обмеження практично не існують і дослідження у цьому напрямку також заслуговують на увагу.

Висновки. Виконаний аналіз особливостей масо- і енергообмінних процесів в умовах аеробного синтезу мікроорганізмів дає змогу зробити такі висновки:

1. Змінна динаміка приросту біомаси мікроорганізмів на стадіях лаг-фази і логарифмічної фази приводить до необхідності підтримання балансу по кисню для того, щоб його концентрація в рідинній фракції середовища підтримувалася близько 25% від стану насичення.

2. Обмежена розчинність кисню приводить до необхідності безперервної аерації середовищ з доповненням її технічними заходами по інтенсифікації на міжфазній поверхні. Таким заходам відповідають рівномірність розподілу барботаажних елементів і, відповідно, диспергової газової фракції по поперечному

перерізу бродильного апарата, підвищення газотримувальної здатності за рахунок створення циркуляційних контурів змінних напрямків, переведення середовищ до режимів перехідних процесів, зміна тисків у газовій фракції в надрідинному об'ємі, використання комбінованих аераційних систем.

3. Газотримувальна здатність є визначальною характеристикою гідродинамічних режимів, яка визначає енергетичний потенціал зброджуваних середовищ і пов'язана з приведеною швидкістю газової фракції та геометрією бродильного апарата.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколенко А.І. Особливості трансформацій енергоматеріальних потоків у замкнених циркуляційних контурах // Наукові праці НУХТ. — 2017. — Т. 23, № 3. — С. 101—106.
2. Пирог Т.П. Загальна біологія / Пирог Т.П. — Київ: НУХТ, 2010. — 632 с.
3. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: монографія / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Васильківський К.В. та ін. — Київ: Кондор-Видавництво, 2016. — 326 с.
4. Семихатова Н.М. Хлебопекарные дрожжи / Семихатова Н.М. — Москва: Пищевая промышленность, 1980. 200 с.
5. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратурного оформления: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. / Гандзюк М.П. — Киев: КТИПП, 1984. — 49 с.
6. Піддубний В.А. Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.18.12./ Піддубний В.А. — Київ: НУХТ, 2008. — 47 с.
7. Апарат для вирощування мікроорганізмів: а.с. 334241 СССР: МКИ С12В 1/10 / Гандзюк М.П., Соколенко А.І., Мардер А.Ц.; № 1483966/28-13; заявл. 15/10/1970; опубл. 30.03.1972, Бюл. № 12.
8. Соколенко А.І. Енергоматеріальні трансформації в харчових технологіях на основі замкнутих контурів: монографія / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Чагайда А.О. — Київ: Кондор, 2015. — 300 с.
9. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 21064 Україна: МПК С12М 1/02 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Шевченко О.Ю., Максименко І.Ф.; власник НУХТ. № u200610360; заявл. 29.09.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.
10. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 25561 Україна: МПК С12М 1/02 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Блаженко С.І., Шевченко О.Ю., Семенов О.М.; власник НУХТ. № u200704080; заявл. 13.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
11. Масообмінний апарат: пат. на корисну мод. 25649 Україна: МПК В01Д 3/18 / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Підлісний В.В., Шевченко О.Ю., Варфоломєєв А.Й.; власник НУХТ. № u200704722; заявл. 27.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
12. Апарат для вирощування мікроорганізмів: пат. на корисну мод. 33120 Україна: МПК С12М 1/02 / Піддубний В.А.; власник НУХТ. № u200801611; заявл. 07.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

ИННОВАЦИИ В ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ АЭРОБНОГО СИНТЕЗА МИКРООРГАНИЗМОВ

К.В. Васильковский, М.И. Юхно, В.С. Костюк

Национальный университет пищевых технологий

В.А. Поддубный

Киевский национальный торгово-экономический университет

В статье приведены результаты углубленного анализа особенностей течения и организации процессов аэробного сбраживания сахаросодержащих

сред с применением дрожжей-сахаромицетов. Предложено количественные показатели массовых потоков оценивать показателями приведенной скорости газовой фазы. Приведена информация об особенностях массопередачи на границе раздела газовой и жидкостной фракций, причинах образования циркуляционных контуров на основе диспергированной газовой фазы, проводится сравнение аэраторов-диспергаторов, барботажных систем аэрации одно- и более уровневых и комбинированных эжекционных и барботажных систем.

Отмечается целесообразность переориентации циркуляционных контуров и создания режимов переходных процессов, откликом систем на которые являются переменные показатели гидродинамики, появление дополнительных силовых воздействий в форме сил инерции и интенсификация массообменных процессов. Предложены зависимости, которыми определяются энергетические потенциалы образования межфазной поверхности в газожидкостных средах.

Ключевые слова: аэробный синтез, дрожжи, сбразивание, сахаросодержащие среды, циркуляционный контур, энергетический потенциал, барботажная система.