

## CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF INDUSTRIAL FERMENTERS SUPPLYING ENERGY IN A LIQUID PHASE

A. Kopylenko

*National University of Food Technologies*

M. Kutovoy, V. Povodzinskiy, V. Shybetsky

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

---

**Key words:**

*Biotechnology  
Biological agent  
Fermenter  
Ejector  
Ink jet aeration  
Self-priming mixer*

---

**Article history:**

Received 16.11.2016

Received in revised form  
08.12.2016

Accepted 24.12.2016

---

**Corresponding author:**

A. Kopylenko

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The modern classification of industrial fermenters of energy supply in a liquid phase is proposed in the article. Energy supply is initiated by different structures, which are the part of the devices for the aerobic biosynthesis. The gas-liquid dispersion flow configuration was estimated that determines the effectiveness of culture fluid homogenization. The possibility of using this type of fermenters in biotechnology of large tone microbial masses was identified. The systematization of information on structural features of the fermenters supplying energy in a liquid phase was conducted, as well as the analysis of fermenter types.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ ФЕРМЕНТЕРІВ З ПІДВЕДЕННЯМ ЕНЕРГІЇ РІДКОЮ ФАЗОЮ

А.В. Копиленко

*Національний університет харчових технологій*

М.Г. Кутовий, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*У статті запропоновано сучасну класифікацію промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою. Підведення енергії ініційоване різноманітними конструкціями, якими оснащені апарати для аеробного біосинтезу. Оцінено конфігурацію потоків газорідної дисперсії, що визначає ефективність гомогенізації культуральної рідини. Визначено можливості застосу-*

*вання ферментерів даного типу в біотехнології крупнотоннажного виробництва мікробних мас.*

**Ключові слова:** *біотехнологія, біологічний агент, ферментер, ежектор, струменева аерація, самовсмоктуюча мішалка.*

**Постановка проблеми.** Конструювання ефективних промислових ферментерів є обов'язковою умовою прогресу в біотехнології, що зумовлює забезпечення біологічних агентів (БА) оптимальними умовами зовнішнього оточення. Підтвердженням даної концепції є те, що серед прикладів апаратурного оформлення процесів біотехнології найбільш популярні розробки апаратурного оснащення для стадії культивування БА. Специфічні вимоги до конструювання ферментерів що обумовлені фенотипом БА, достатньо ґрунтовно представлені у літературі [1—7] і вони, як правило, орієнтовані на інтенсифікацію масообмінних характеристик ферментеру при виробництві біомаси та метаболітів або мають своєю метою створення ексклюзивних умов культивування клітинних культур при виробництві активних фармацевтичних інгредієнтів, таких як рекомбінантні білки, пептиди тощо.

**Метою статті** є аналіз роботи та класифікації промислових ферментерів з різними способами підведення енергії в культуральну рідину (КР) в процесі культивування[8; 9].

**Виклад основних результатів дослідження.** Серед конструкцій ферментерів найбільш поширені апарати з підведенням енергії компримованим газом, механічним перемішувальним пристроєм або струменем рідини.

У статті проведена систематизація інформації про конструкційні особливості ферментерів з підведенням енергії рідиною фазою, оцінено можливості їх використання в біотехнології та фармації, проаналізовано принципи роботи ферментерів даного типу та їх класифікація. Проведене дослідження дасть змогу розробити базові засади формування технічного завдання, основ проектного розрахунку, виявити шляхи інтенсифікації і регулювання біотехнологічних процесів, а також окреслити можливі напрямки конструювання ферментерів даного типу.

Апріорі потрібно зауважити, що ферментери з підведенням енергії рідиною фазою малопридатні для виробництва продуктів тонкого мікробного синтезу, також їх використання малоперспективне для асептичних виробництв. Відсутність систем повітропостачання, що є основними споживачами електроенергії, та простота конструкції обумовлюють перспективність даного напрямку конструювання ферментерів для аеробного біосинтезу.

Ферментери з підведенням енергії рідкою фазою можливо умовно розділити на групи залежно від типу генератора енергії, що передає енергію рідкій фазі — культуральній рідині у спеціалізованому пристрої — ежекторі, циркуляційному насосі або у мішалці. Ферментери з ежектором дають змогу сформувати контур, в якому циркулює газорідинна дисперсія КР і газ, що поступає з атмосфери при циркуляції. Циркуляційні насоси надають можливість сформувати два типи струменевих потоків у зовнішньому

циркуляційному контурі ферментера — падаючий і затоплений струмінь культуральної рідини. Самовсмоктуюча мішалка формує інтенсивний циркуляційний потік газорідної дисперсії без участі зовнішніх джерел повітропостачання (рис. 1).



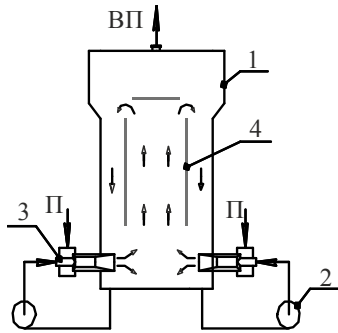
**Рис. 1. Класифікація ферментерів з підведення енергії рідкою фазою**

Загальною ознакою ежекційних ферментерів є наявність насоса й ежектора (рис. 2), конструкційні параметри якого (продуктивність, рівень дисперсності газової фази) розраховуються індивідуально. Зважаючи на відсутність надійних методик розрахунку апаратів даного типу, вибір параметрів роботи здійснюють за [10]. Перевага апаратів такого типу — це можливість рециркуляції газової фази, що є особливо важливим при використанні як субстрату природного газу та при аерації середовища киснем чи повітрям з підвищеним вмістом кисню.

Ефективність аерації середовища обумовлюється процесами, що відбуваються в камері змішування ежектора (рис. 3), в якій швидкості потоків рідини — швидкісний потік від насоса та газу — потік низького тиску — вирівнюються, що супроводжується збільшенням тиску. З камери змішування потік поступає в зону звуження перерізу потоку, що супроводжується зниженням тиску і забором газової фази. В дифузорі відбувається ріст тиску за рахунок уповільнення швидкості потоків. Тиск змішаного потоку на виході з дифузора вищий за тиск ежекційного потоку, що поступає в приймальну камеру, а отже, взаємодія між потоками відбувається за високої концентрації енергії. У результаті перебігу цього процесу збільшується рівень дисперсності газової фази. В апаратах ежекторного типу в зоні формування газорідної дисперсії може утворюватись поверхня контакту фаз на порядок вища, ніж в апаратах з механічними перемішувачами.

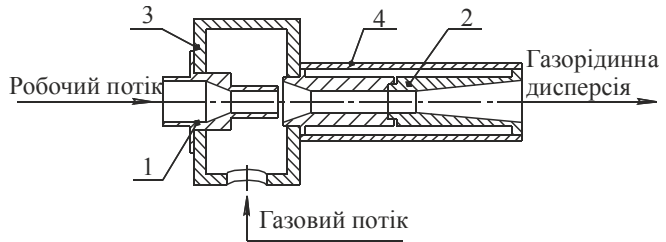
Стосовно ефективності використання енергії, що вводиться в систему відцентровим насосом, то її приблизно можна оцінити по коефіцієнту корисної дії насоса.

Ферментери з ежекційною системою аерації знайшли своє використання в процесах культивування БА, що стійкі до значних енергій зрізових зусиль, які виникають як у насосі, так і в ежекторі.



**Рис. 2. Ферментер з ежекційною системою:**

1 — корпус, 2 — насос,  
3 — ежекційний пристрій,  
4 — дифузор-теплообмінник;  
ВП — вихід відпрацьованого  
повітря; П — повітря



**Рис. 3. Схема ежектора:**

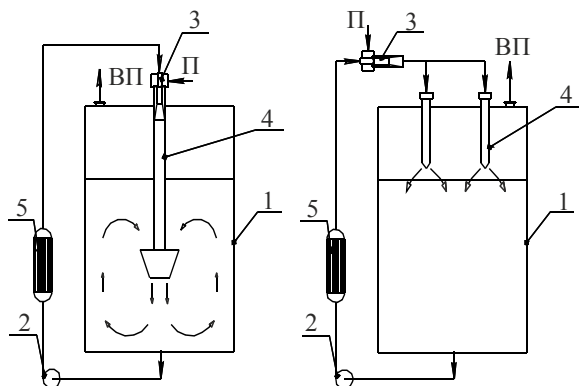
1 — робоче сопло; 2 — дифузор;  
3 — камера змішування; 4 — корпус

Ферментер струменевого типу (рис. 4) поєднує наявність типових конструкторських елементів — зовнішнього циркуляційного контуру з насосом і за необхідності з виносним теплообмінником, ежектора та елементів конструкції аераційного пристрою — струменевого аератора, що формує направлений потік газорідинної дисперсії. Характерною особливістю ферментерів даного типу є те, що рух рідини в зовнішньому циркуляційному контурі під дією імпульсу енергії спричиняє аераційний ефект (внесення газової фази в рідину), так і інтенсивну диспергацію газової фази, що реалізується у спеціалізованій робочій зоні ежектора. Інтенсивність масопередачі кисню, як основного лімітуючого субстрату, пропорційна енергії, що вводиться в систему рідинним насосом. Серед відомих промислових ферментерів можна виділити апарати з потоком, що занурений в об'єм рідини (занурений струміль, затоплений канал, затоплене сопло) та ті апарати, в яких рідина диспергується над поверхнею КР (падаючий струміль). Енергія рідинної фази дає змогу забезпечити ежекційний ефект, що призводить до інтенсивної диспергації газової фази, а також створити макротурбулентне перемішування в циркуляційному контурі теплообмінника.

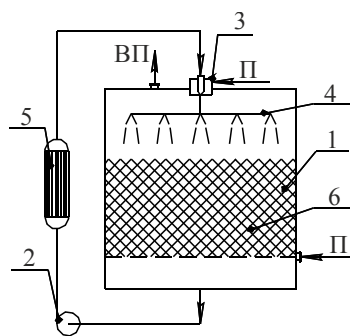
Одним із перших ферментерів, у якому був використаний спосіб струменевої аерації середовища потоком культуральної рідини, є струменевий генератор Фрінгса (рис. 5), у промисловому виробництві спиртового оцту при використанні бактерій *Acetobacter aceti* [11].

У технології виробництва оцту циркуляційним способом, що близький до «методу Шуценбаха» з використанням струменевого генератора Фрінгса, ферментер являє собою зрошувальний біофільтр об'ємом до 60 м<sup>3</sup> із завантаженням з букової стружки, на поверхні якої іммобілізовані у вигляді слизових плівок оцтовокислі бактерії. Ферментер герметичний, має дерев'яну решітку, на якій розташований шар букової стружки. Частково зброжений розчин циркуляційним насосом через теплообмінник поступає в систему зрошува-

ння, у склад якої входить ежектор і диспергатор з повітропроводом. Повітря по трубопроводу в ежектор поступає з атмосфери за рахунок розрідження через клапани з фільтрами, що розташовані в нижній частині ферментера. Використання даної конструкції ферментера надає можливість інтенсифікувати виробничий процес і досягти виходу цільового продукту в кількості 6—8 кг оцтової кислоти за добу з 1 м<sup>3</sup> робочого об'єму ферментера.



**Рис. 4. Ферментери із зануреним (а) і падаючим струменем (б):** 1 — корпус; 2 — насос; 3 — ежектор; 4 — дифузор; 5 — теплообмінник; ВП — вихід відпрацьованого повітря; П — повітря

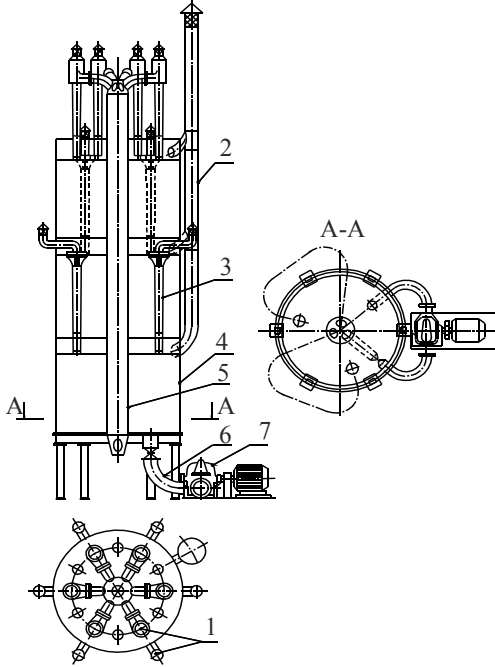


**Рис. 5. Струменевий ферментер (генератор Фрінгса):** 1 — корпус; 2 — циркуляційний насос; 3 — ежекційний пристрій; 4 — аераційний диспергатор культуральної рідини; 5 — теплообмінник; 6 — насадка з букової стружки; П — повітря; ВП — вихід відпрацьованого повітря

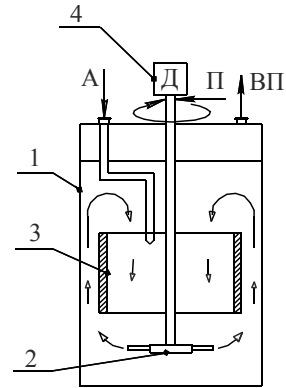
Відомі конструкції промислових струменевих ферментерів з падаючим суцільним або кільцевим струменем рідини. Суцільний струмінь утворюється при витіканні рідини з циліндричного патрубку, кільцевий при виході з кільцевого зазору, утвореного патрубком і циліндричної вставкою (рис. 6). При контакті струменя і рідини відбувається додаткове захоплення газу її поверхнею і формування аераційної (барботажної) зони.

Прикладом сучасного струменевого ферментера з безнапірними струменевими елементами, в якому вирішене питання забезпечення стабільної роботи відцентрового насоса, є ферментер (рис. 6), розроблений для очищення стічних вод, депарафінації нафтових дистилатів і переробки сульфідних лугів [1]. Ферментер місткістю 1000 м<sup>3</sup> оснащений відцентровим насосом спеціальної конструкції, в якому передбачене видалення газу з газоріднинної дисперсії. Ферментер подає КР в шахту падіння аераційного пристрою реакційної камери. Культуральна рідина в шахтовому просторі рухається вниз у вигляді кільцевого потоку. Характерною особливістю циркуляційного соплового ферментера з падаючим струменем є те, що струменевий аератор має звуження в нижній частині, завдяки чому при русі КР виникає кільцевий потік, що перетворюється у струмінь і формує зону зниженого тиску, завдяки чому сюди

поступає аераційне повітря. Газорідинна дисперсія на виході має дрібнодисперсну консистенцію і високий рівень кінетичної енергії. Недоліком даних апаратів є втрати енергії при перекачуванні рідини, труднощі проектування у зв'язку з відсутністю надійних методик розрахунку конструкцій і режимів роботи струменевих і ежекційних пристроїв та необхідність використання спеціальних насосів для перекачування КР з газовмістом до 50%.



**Рис. 6. Ферментер струменевого типу із шахтними перепадами місткістю 1000 м<sup>3</sup> [4]:**  
 1 — вхід повітря; 2 — трубовід відпрацьованого повітря; 3 — шахтний водоскид;  
 4 — корпус; 5 — циркуляційна труба;  
 6 — всмоктуючий трубопровід;  
 7 — циркуляційний насос



**Рис. 7. Ферментер системи Вальдгофа:** 1 — корпус апарата; 2 — аератор; 3 — направляючий циліндр; 4 — привід валу мішалки;  
 А — поживне середовище;  
 П — повітря; ВП — вихід відпрацьованого повітря

Значна кількість розробок апаратів із самовсмоктуючими мішалками позиціонується в технологіях аераційної очистки стічних вод [13]. Нами розглядаються виключно конструкції і принципи роботи ферментерів для отримання мікробної маси.

Вперше ферментери без спеціалізованої системи повітропостачання були використані для культивування дріжджів на сульфитних лугах у неасептичних умовах. Прикладом такого ферментера з одновальною мішалкою (рис. 7) є апарат системи Вальдгофа місткістю 210 м<sup>3</sup>, що використовувався в Німеччині на заводі «Агфа» [4].

Повітря поступає через порожнистий вал, що обертається зі швидкістю 5,3 с<sup>-1</sup> діаметром 200 мм з розташованими на його нижньому кінці відводами з 5—6 вигнутих труб діаметром 70 мм з відкритими торцями в формі Сегнєрова колеса і викидається через відкриті торці загнутих труб аератора. Ці

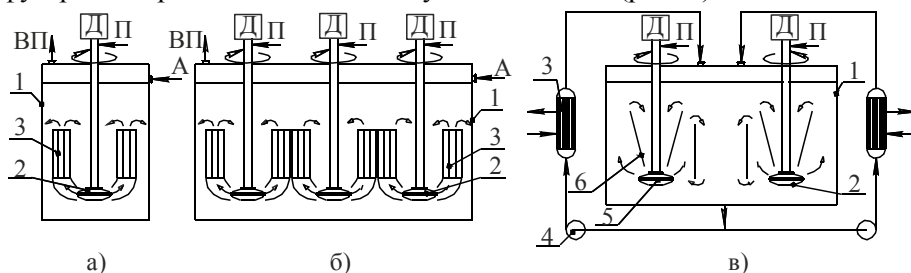
загнуті труби кріпляться до нерухокої розподільної коробки, що кріпиться до валу. Для створення циркуляції на певній висоті від дна апарата встановлюється направляючий циліндр (дифузор).

Передбачається, що рідина, насичена повітрям, буде підніматись по перерізу кільця між циліндром і стінкою апарата, і далі буде опускатися через циліндр, потім знову близько дна апарата відкидається струменем повітря на периферію. Така циркуляція забезпечує гомогенізацію КР і знижує ступінь піноутворення. У ферментерів системи Вальдгофа наведений (гідростатичний) рівень підтримується на певній висоті (1,7—1,8 м), коефіцієнт заповнення ферментера — 22—25%. Витрати повітря становлять 50 м<sup>3</sup>/кг сухих дріжджів.

Створення конструкцій ферментерів великою одиничної потужності призвело до розробки конструкцій багатовалових секційних апаратів з самовсмоктуючими мішалками.

Ферментери з самовсмоктуючими аераційними мішалками, в яких встановлюється порожнистий вал, що обертається і на якому закріплена мішалка спеціальної конструкції, знайшли досить широке застосування в мікробіологічній промисловості. Такі апарати, що працюють за принципом системи Вальдгофа, мають саме різне конструктивне оформлення (рис. 8).

Внутрішній стакан дифузора, що обмежує зону найбільш інтенсивного перемішування, а також сприяє організації спрямованої циркуляції в апараті, застосовується в багатьох сучасних конструкціях ферментерів з механічним перемішувальними пристроями. У ферментерах як циркуляційні пристрої використовують системи направляючих дифузорів, що розділяють висхідні та низхідні потоки. Теплообмінні пристрої виконані у вигляді трубних решіток дифузорів напірній зоні самовсмоктуючої мішалки (рис. 9).

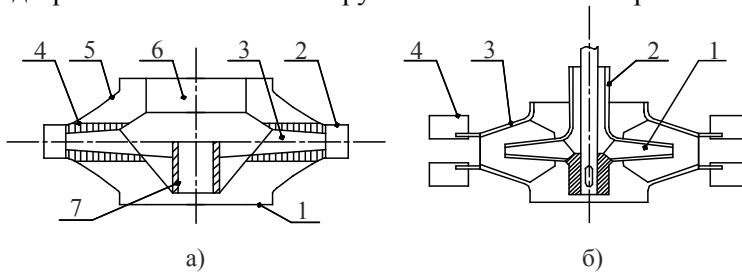


**Рис. 8. Ферментери із самовсмоктуючими мішалками:** а — одновальний ферментер із самовсмоктуючою мішалкою: 1 — корпус; 2 — самовсмоктуюча мішалка; 3 — циркуляційний контур-теплообмінник; б — багатовальний ферментер із самоусмоктуючими мішалками; в — ферментер з самоусмоктуючими мішалками багатовальний із зовнішнім циркуляційним контуром з теплообмінником: 1 — корпус; 2 — самовсмоктуюча мішалка; 3 — вносний теплообмінник; 4 — насос; 5, 6 — дифузор; П — повітря; ВП — відпрацьоване повітря; А — вхід поживного середовища

Повітря у ферментер транспортується за рахунок розрідження, що виникає в повітряній камері мішалки, яка з однієї сторони з'єднується з атмосферою, а з іншої — з рідиною, що (відкидається) лопатками мішалки.

Особливістю конструкції таких мішалок є те, що всередині корпусу на лопатях закріплений кільцевий газорозподільник з патрубком для подачі газу (повітря). Однак те розрідження, що створює самовсмоктуюча мішалка, від-

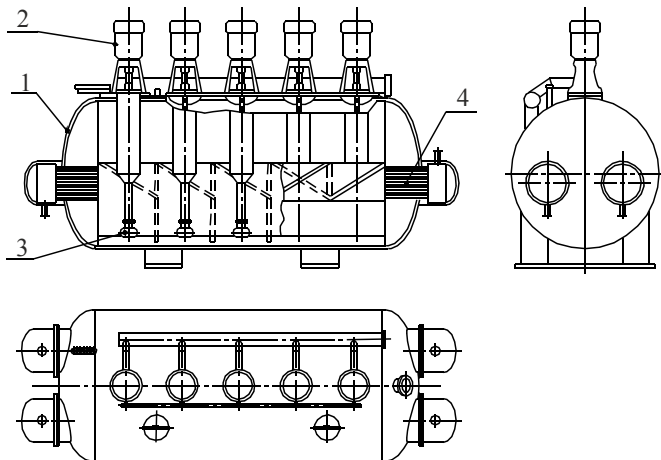
носно невелике. Це обмежує глибину їх занурення, що розраховується за «РД 26.260.008-92 Ферментаторы для производств микробиологического синтеза. Методы расчета основных конструктивных элементов и режимов работы».



**Рис. 9. Схема конструкції самовсмоктуючої мішалки:** а — закрыта самовсмоктуюча мішалка: 1 — нижня тарілка; 2 — кільцеве сопло; 3 — лопать; 4 — розсікач; 5 — верхня тарілка; 6 — турбінка; 7 — втулка; б — відкрита самовсмоктуюча мішалка: 1 — повітряна камера; 2 — патрубок для подачі газу; 3 — турбінка; 4 — лопаті

Самоусмоктуючі мішалки як аераційні пристрої мають малий енергетичний ККД, проте дроблення газу, що забезпечує велику площу контакту фаз, дозволяє їх порівняти з ферментерами з підведенням енергії механічним перемішуючим пристроєм. Недоліками таких апаратів є складнощі оптимізації й управління інтенсивністю гідродинамічних і масообмінних процесів, що пов'язано з використанням принципу самовсмоктування.

Виробництво кормових дріжджів пов'язано з промисловим використанням багатовалового ферментера об'ємом  $50 \text{ м}^3$  з п'ятьма самовсмоктуючими мішалками (рис. 10), що використовувався в цеху чистої культури посівних дріжджів.



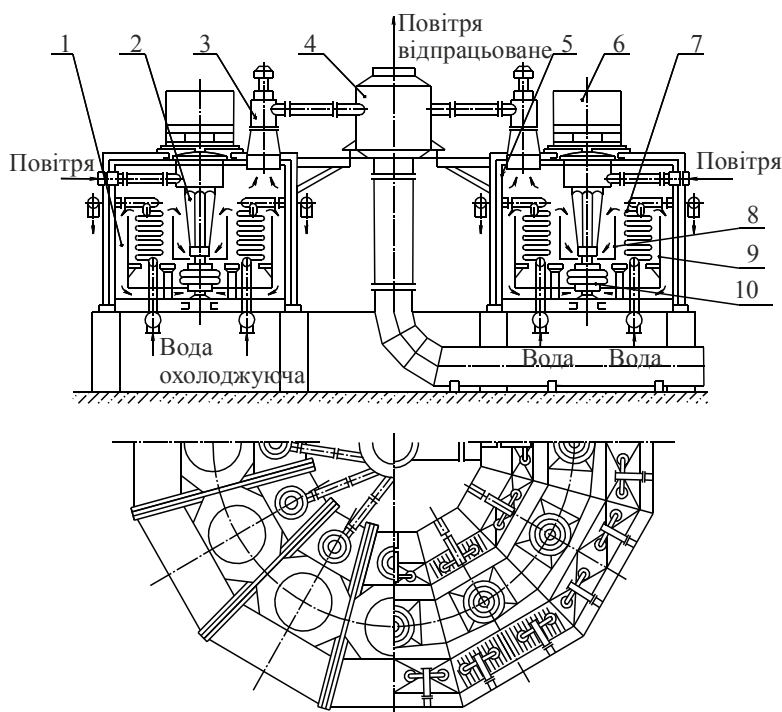
**Рис. 10. Ферментер з п'ятьма самовсмоктуючими турбінними мішалками об'ємом  $50 \text{ м}^3$ :**  
1 — корпус; 2 — привід; 3 — самовсмоктуюча мішалка; 4 — теплообмінник

Ферментери великих об'ємів із самовсмоктуючими мішалками в промисловому виконанні представлені у вигляді горизонтального тора, по колу якого рівномірно розміщені самовсмоктуючі турбінні мішалки. Ферментери даної конструкції використовувались у виробництві кормового білкового препарату «Дрожжи кормовые — паприн ГОСТ 28179-89. Технические условия».



На рис. 11 показана конструкція ферментера, відомого під маркою Б-50. Цей апарат був розрахований на отримання 50 т кормових дріжджів за добу з вуглеводнів нафти. Він являє собою дванадцятигранник місткістю близько 800 м<sup>3</sup>, розділеної на 12 секцій вертикальними перегородками. Культуральна рідина з біомасою дріжджів проходить послідовно всі секції і з останньої виходить з мінімальним вмістом n-парафінів і максимальною концентрацією біомаси. У кожній секції встановлена самовсмоктуюча мішалка з електродвигуном постійного току потужністю 315 кВт, дифузори для створення циркуляційних контурів і теплообмінники. При обертанні турбіни рідина на виході, володіючи великою енергією, створює розрядження у розріджену зону підсмоктується повітря з атмосфери по трубопроводу, сполученого з порожнистою частиною пристрою. У цій зоні відбувається інтенсивне перемішування і аерація культуральної рідини.

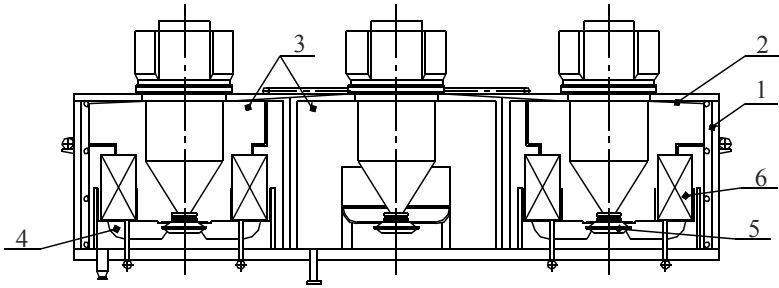
Промислові випробування не дали очікуваної продуктивності щодо біомаси дріжджів — в деяких випадках було отримано 30—35 т/добу.



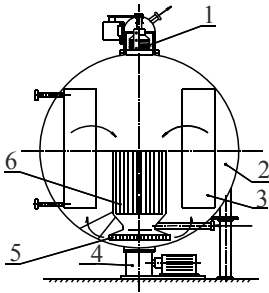
**Рис. 11. Ферментер з Б-50:** 1 — кільцевий канал; 2 — повітропровід; 3 — піногасник; 4 — сепаратор; 5 — циліндр; 6 — привід; 7 — теплообмінник; 8 — дифузор; 9 — циліндричний стакан; 10 — самоувсмоктуюча мішалка

Сучасну та більш досконалу конструкцію має ферментер АДР-900-76 (рис. 12). Ферментер представляє собою закритий корпус, що забезпечений пристроєм для аерації та циркуляції середовища й теплообміну. Внутрішній об'єм ферментера розділений кільцевою перегородкою на дві секції: секцію вирощування, розташовану на периферії, і секцію дозрівання, розташовану в центрі. Початок і кінець секції вирощування відокремлені один від одного

радіальною перегородкою. Напірна зона аератора, встановленого в кінці секції вирощування, за допомогою трубопроводів з'єднується з секцією дозрівання і початком секції вирощування. Причому трубопровід, що з'єднує кінець секції вирощування з її початком, підведений безпосередньо до всмоктуючої горловини аератора, встановленого на початку секції вирощування. Завдяки такій схемі з'єднання забезпечується організована примусова рециркуляція культуральної рідини з кінця секції в її початок. Пристрої для циркуляції середовища виконані у вигляді двох, розташованих один над одним по колу, напрямних U-подібного перерізу. Теплообмінники являють собою систему змійовиків, встановлених між вертикальними ділянками U-подібних напрямних. Аеруючі пристрої — самовсмоктуючі мішалки, що знаходяться в співвісних отворах між горизонтальними ділянками напрямних. 12 із 13 мішалок розміщені по периферії, в секції вирощування і одна — в центрі, в секції дозрівання.



**Рис. 12. Ферментер АДР-900-76:** 1 — корпус; 2 — кришка; 3 — зона секцій вирощування та дозрівання; 4 — пристрій для циркуляції; 5 — самовсмоктуюча мішалка; 6 — теплообмінник



**Рис. 13. Кульовий ферментер об'ємом 1000 м<sup>3</sup>:** 1 — механічний піногасник; 2 — кульовий корпус апарата; 3 — теплообмінні пластини; 4 — гідравлічний привід; 5 — аераційна турбіна; 6 — центральний дифузор

Фірма РЕС-«Хемап» розробила конструкцію кульового ферментера з аераційною турбіною, що забезпечує циркуляційне перемішування ферментаційного середовища і диспергування в ній газової фази [7].

На рис. 13 представлена схема апарата об'ємом 1000 м<sup>3</sup>. Обмежувальні перегородки у вигляді пластинчастих теплообмінників розташовані радіально. Питома потужність, що витрачається на перемішування, становить приблизно 5 кВт/м<sup>3</sup>. Ферментер ефективно працює при надлишковому тиску.

### **Висновки**

Наведені конструкції, проведений аналіз принципів роботи та визначені конструкційні особливості промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою, що дозволило створити класифікацію ферментерів для аеробного біосинтезу. Представлена у даній статті класифікація як система досліджень є суттєвим елементом систематизації й узагальнення інформації. Дані,

наведені у статті, важливі для розробки технічних завдань та обґрунтувань вибору сучасного промислового обладнання в біотехнології.

### **Література**

1. *Виестур У.Э.* Системы ферментации. [Текст] / У.Э. Виестур, А.М. Кузнецов, В.В. Са-венков. — Рига : Зинатне, 1988. — 368 с.
2. *Кафаров В.В.* Моделирование биохимических реакторов. [Текст] / В.В. Кафаров, А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев. — Москва : Лесная промышленность, 1979. — 344 с.
3. *Андреев А.А.* Производство кормовых дрожжей. 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / А.А. Андреев, Л.И. Брызгалов. — Москва : Лесная промышленность, 1986. — 248 с.
4. *Schuger K.* Neue Bioreaktoren für aerobe Prozesse // Chem-Ing.-Techn. — 1980. — 52, # 12, — P. 951—965.
5. *Стабников В.Н.* Особенности расчета ферментаторов с виброперемешиванием / В.Н. Стабников, П.П. Лобода, В.Н. Поводзинский // Хим. и нефтян. машиностроение. — 1984. — № 5. — С. 26—28.
6. *Сидоров Ю.І.* Промислові ферментери // Біотехнологія». — 2012. — Т. 5, № 3. — С. 33—39.
7. *Быков В.А.* Расчет процессов микробиологических производств. [Текст] / В.А. Быков, А.Ю. Винаров, В.В. Шерстобитов.— Київ : Техніка, 1985. — 245 с.
8. *Резенчук О.Є.* Класифікація та аналіз роботи ферментерів з пневматичним перемішуванням [Текст] / О.Є. Резенчук, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький. — Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2011. — № 3. — С. 79—84.
9. *Закоморний Д.М.* Класифікація та аналіз роботи ферментерів з механічними перемішувачами пристроями в аеробних процесах біотехнології [Текст] / Д.М. Закоморний, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький // «ScienceRise». — 2015. — № 5/2 (10). — С. 24—32.
10. *Соколов Е.Я.* Струйные аппараты. [Текст] / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер — 3-е изд., перераб. — Москва : Энергоатомиздат, 1989. — 352 с., ил.
11. *Мюллер Г.* Микробиология пищевых продуктов растительного происхождения: учебник / Г. Мюллер, П. Литц, Г.Д. Мюнх. — Перевод с нем. А.М. Калашниковой; Под ред. И.М. Грачевой. — Москва : Пищевая промышленность, 1977. — 300 с.
12. *Воронов В.Ю.* Струйная аэрация. Научное издание. [Текст] / В.Ю. Воронов, В.Д. Казаков, М.Ю. Толстой. — Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 216 с.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФЕРМЕНТЕРОВ С ПОДВОДОМ ЭНЕРГИИ ЖИДКОЙ ФАЗОЙ**

**А.В. Копыленко**

*Национальный университет пищевых технологий*

**М.Г. Кутовой, В.М. Поводзинский, В.Ю. Шибецкий**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

*В статье предложена современная классификация промышленных ферментеров с подводом энергии жидкой фазой. Подвод энергии иницировано различными конструкциями, которыми оснащены аппараты для аэробного биосинтеза. Оценена конфигурация потоков газожидкостной дисперсии, которая определяет эффективность гомогенизации культуральной жидкости. Определены возможности применения ферментеров данного типа в биотехнологии крупнотоннажного производства микробных масс.*

**Ключевые слова:** *биотехнология, биологический агент, ферментер, эжектор, струйная аэрация, самовсасывающая мешалка.*