

## КОНСТРУКЦІЯ ФЕРМЕНТЕРІВ

Ферментер (біореактор, культиватор) – серцевинна частина мікробіологічного виробництва. Від природних біореакторів (море, озеро, калюжа), в яких теж відбуваються біохімічні процеси, ферментер відрізняється тим, що вказані процеси в ньому відбуваються *керовано*.

Від якості та надійності ферментера значною мірою залежить успіх проведення виробничого процесу в цілому.

### 4.1. Конструкції ферментерів ємнісного типу з електроперемішувальними пристроями

Ці апарати належать до найпоширенішого класу ферментерів. Вони є вертикальними ємностями, усередині яких знаходяться вали, що обертаються, на які насаджені лопатеві турбінокмішалками. Апарати споряджені барботерами або іншими аеруючими пристроями. Для відводу тепла ферментер споряджають також оболонкою або змійовиком. Крім того, ферментер має патрубки для вводу рідких або газових середовищ, пристроями для піногасіння. До конструкцій ферментерів висуваються суворі вимоги щодо забезпечення герметичності.

Стандартні величини ємностей відповідають двом рядам переважних чисел R–10 (більше ніж 1 м<sup>3</sup>) та R–5 (менше ніж 1 м<sup>3</sup>).

Ряд R–10 визначений геометричною прогресією з коефіцієнтом  $\sqrt[10]{10}$  (об'єми, м<sup>3</sup>, 1, 1,25, 1,6, 2,0, 2,5, 3,2, 4,0, 5,0, 6,3, 8,0, 10, 12,5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 і т. д.).

Ряд R–5 визначений геометричною прогресією з коефіцієнтом  $\sqrt[5]{10}$  (об'єми, м<sup>3</sup>, 1, 0,63, 0,4, 0,25, 0,16, 0,1, 0,063, 0,04, 0,025, 0,016, 0,01).

Ферментери цього типу порівняно зі звичайними реакторами-змішувачами характеризуються збільшеним відношенням

висоти до внутрішнього діаметра апарата (2–2,5). Завдяки цьому збільшується коефіцієнт газовмісності і, отже, об'ємний коефіцієнт масопередачі за киснем.

### Серійні моделі ферментерів

#### 4.1.1. Ферментери конструкції ВНДІПрБ

На рис. 4.1 показано ферментер конструкції ВНДІПрБ об'ємом 40 м<sup>3</sup> [1]. Корпус апарата – циліндричний з еліптичними днищем і привареною кришкою. Мішалка двоярусна. Швидкість обертання мішалки 3 с<sup>-1</sup>. Кожний ярус мішалки є нахиленим диском, до якого болтами закріплено 6 лопатей. Для більшої турбулізації рідини та для запобігання руху рідини по колу з утворенням воронки, по периферії внутрішньої стінки корпусу розташовані 4 відбійні пластини розміром 300×2300.

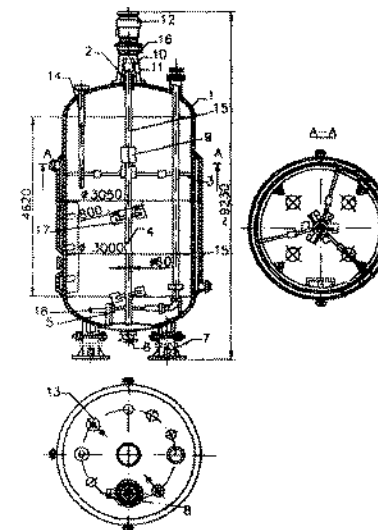


Рис. 4.1. Ферментер конструкції ВНДІПрБ (Росія)

- 1 – корпус; 2 – ущільник; 3 – тяги; 4 – вал з мішалками; 5 – барботер;  
6 – патрубок; 7 – стійка; 8 – лаз-павук діаметром 400 мм; 9, 10 – муфта;  
11 – стійка; 12 – електродвигун; 13 – оглядове скло;  
14 – гільза для термопари; 15 – водяна оболонка; 16 – редуктор;  
17 – лопать; 18 – промінь барботера

Повітря в живильне середовище надходить за допомогою барботера, який зображений на рис. 4.2. Барботер є кільцевим трубопроводом діаметром 680 мм, до якого за допомогою різі закріплено 12 прямих труб-променів (заввишки 630 мм і діаметром 3×32 мм), спрямованих у напрямку радіусів. У кожному промені розташовано 100 отворів діаметром 1,5 мм, розташованих у нижній частині променя під кутом 30° до вертикалі.

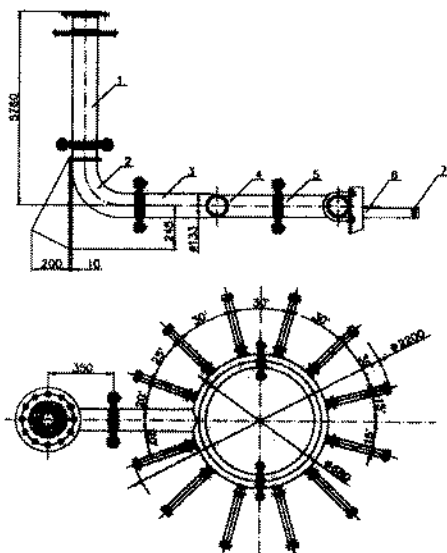


Рис. 4.2. Барботер ферментера конструкції ВНДІПрБ:  
1, 2, 3 – повітроводи; 4, 5 – напівкільця барботера; 6 – промінь;  
7 – ковпачок

**Технічна характеристика ферментера конструкції  
ВНІІПрБ:**

загальний об'єм, м <sup>3</sup> .....	40
робочий об'єм, м <sup>3</sup> .....	25
коефіцієнт заповнення апарата.....	0,625
внутрішній діаметр апарата, мм.....	3000
загальна висота корпусу, мм.....	6200

можливий робочий надлишковий тиск, МПа.....	0,1961
поверхня охолодження оболонки, м <sup>2</sup> .....	28,2
кількість обертів турбінної мішалки, с <sup>-1</sup> .....	3
потужність електродвигуна АО 72-6, кВт.....	14
кількість обертів двигуна, с <sup>-1</sup> .....	15,5

**4.1.2. Ферментери конструкції**

**Гідромедпрому Сумського машинобудівного заводу**

На рис. 4.3 зображено ферментер об'ємом 50 м<sup>3</sup>. Він має триступеневу лопатеву мішалку. Матеріал – нержавіюча сталь.

Особливістю конструкції є використання чотирьох вертикальних зміювиків, розташованих біля стінок апарата. Зміювики виконують подвійну функцію: теплообмінників, які відводять фізіологічне тепло, і перегородок, які турбулізують культуральну рідину.

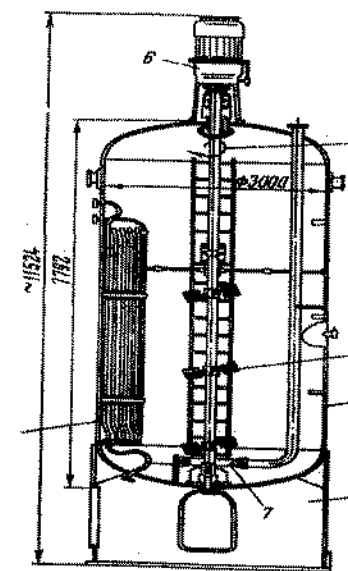


Рис. 4.3. Ферментер конструкції Гідромедпрому:  
1 – корпус; 2 – вал мішалки; 3 – лопать мішалки;  
4 – охолоджувальний зміювик; 5 – опірня царга;  
6 – привід мішалки; 7 – барботер

**Типорозміри ферментерів  
Сумського машинобудівного заводу**

Пов-ний об'єм, м <sup>3</sup>	Висо-та, мм	Діа-метр, мм	Характеристика електродвигуна			Спосіб тепло-обміну	Кіль-кість обертів, хв <sup>-1</sup>
			тип	потуж-ність, кВт	кількість обертів, хв <sup>-1</sup>		
1,0	3030	1100	АО-62-8	2,5; 3; 3,5 (8/6/4Т)	710; 950 1420	Оболонка	184; 245 367
1,0	2845	1100	АО-42-4Т	2,8	1420	«	270
2,0	3870	1300	АО-62-8	4,5	735	«	190
3,2	3960	1500	АО-72-8	10	735	«	190
5,0	4140	1700	АО-63-6	10	980	«	180
5,0	4470	1700	АО-62-4	10	1500	«	180
10,0	7130	2000	АО-82-8	20	735	Змійовик	190
50,0	11470	3000	АО-94-6	75	1000	«	180

**4.1.3. Ферментери з променевим аератором**

На рис. 4.4 зображений ферментер з променевим аератором, що обертається. Такі ферментери встановлені на Мічуринському спиртовому заводі. Випускають ферментери загальним об'ємом 16 та 32 м<sup>3</sup>.

На валу насаджений корпус 1 аератора, до якого закріплюють на болтах два ряди променів 4, що аерують – по 4 в ряду. Промінь є порожньою лопаттю завдовжки 400 мм. Лобова частина променя за ходом руху закруглена, а протилежна має щілину, через яку повітря під тиском надходить в рідину, що перемішується. Повітря в аератор подають під тиском.

На кришці аератора монтують пристрій для піногасіння, який складається з конічних тарілок і має самостійний привід (на рисунках не показаний).

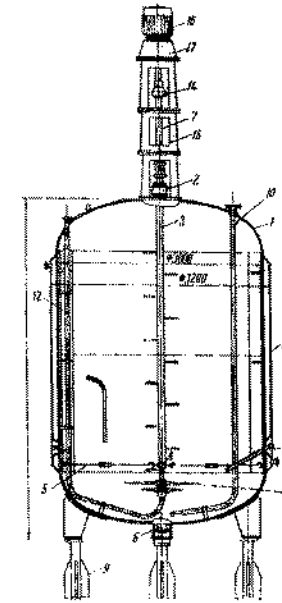


Рис. 4.4. Ферментер з променевим аератором, що обертається:  
1 – корпус; 2 – торцеве ущільнення; 3 – вал; 4 – аератор променевий;  
5 – тяга; 6 – патрубок; 7 – вал проміжний; 8 – підшипник; 9, 15 – стійки;  
10 – труба для введення продукту; 11 – оболонка;  
12 – труба для введення повітря; 13 – гільза для термометра; 14 – муфта;  
16 – електродвигун; 17 – редуктор

**Технічна характеристика ферментерів з променевим аератором, що обертається:**

загальний об'єм, м <sup>3</sup> .....	32
внутрішній діаметр, мм.....	3200
висота апарата, мм.....	4780
висота циліндричної частини, мм.....	3400
робочий тиск, МПа.....	до 0,196
матеріал.....	сталь 1Х18Н9Т

Променевий аератор зображено на рис.4.5.

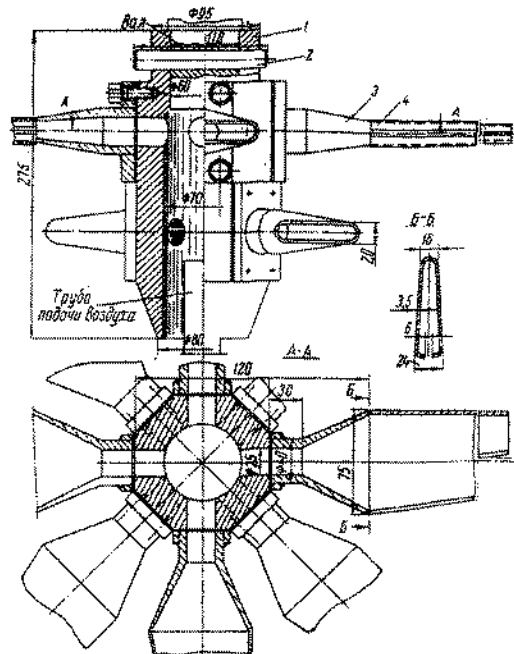


Рис. 4.5. Аератор променеий:  
1 – корпус; 2 – штифт; 3 – перехідний патрубок; 4 – аеруючий промінь

#### 4.1.4. Ферментери Дзержинського заводу хімічного машинобудування

Дзержинський завод хімічного машинобудування (Росія) випускає серійні ферментери об'ємом 5, 15, 20, 30, 50 та 63 м<sup>3</sup>.

На рис. 4.6 зображений удосконалений ферментер об'ємом 63 м<sup>3</sup>. Ферментер споряджений торцевим ущільненням для введення вала. Ферментер має три відбиваючі перегородки. Швидкість обертання триярусної турбінної мішалки з додатковою пропелерною мішалкою – 177 об/хв. Мішалка забезпечує інтенсивне перемішування середовища. Корпус ферментера споряджений чотирисекційною оболонкою загальним об'ємом 1,5 м<sup>3</sup>. Повітря надходить через розбірний квадратний барботер.

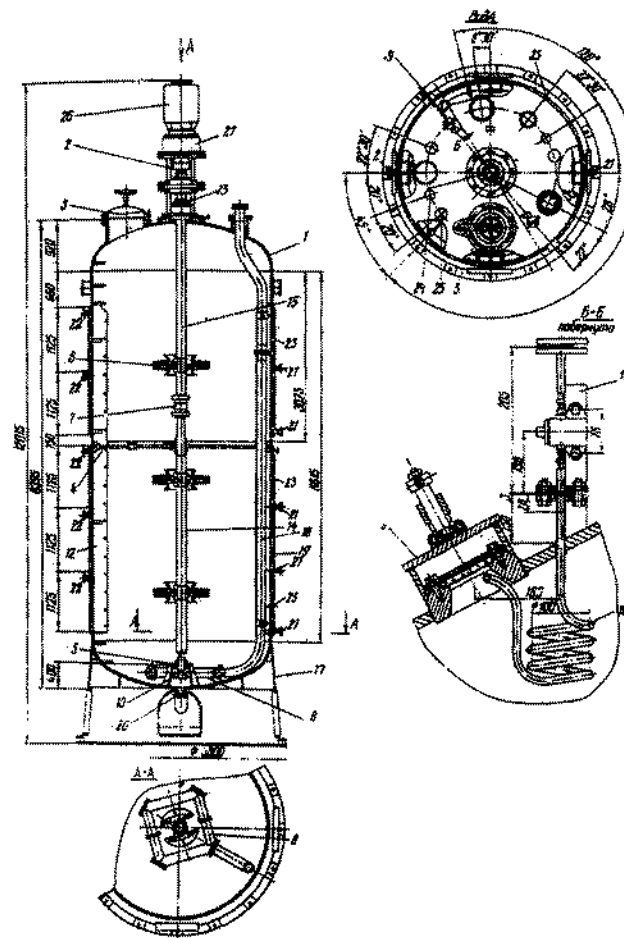


Рис. 4.6. Ферментер Дзержинського заводу хімічного машинобудування (об'єм 63 м<sup>3</sup>):  
1 – корпус; 2 – стійка; 3 – люк; 4 – тяга проміжної опори;  
5 – кільцева опора; 6 – перемішувальна турбінка; 7 – з'єднувальна муфта; 8 – барботер; 9 – оглядове вікно; 10 – пропелерна мішалка; 11 – кронштейн; 12 – відбійник; 13 – торцеве ущільнення; 14 – нижній вал; 15 – верхній вал; 16 – змійовик; 17 – опорна царга; 18 – повітропровід; 19 – охолоджувальна спіральна оболонка; 20 – патрубок для виводу середовища; 21 – патрубок для введення охолоджувальної води; 22 – патрубок для виводу охолоджувальної води; 23 – бобишка для термопар; 24 – бобишка для манометра; 25 – патрубок для введення посівної культури; 26 – електродвигун; 27 – редуктор

Матеріал апарата – сталь X18H10T, оболонки – Ст.3. Робочий тиск в апараті і оболонці – 0,294 МПа. Електродвигун АО 92- 4В3 потужністю 100 кВт з частотою обертання 1460 об/хв.

На рис. 4.7 показано торцеве ущільнення ферментера із з'єднанням кінців вала і редуктора.

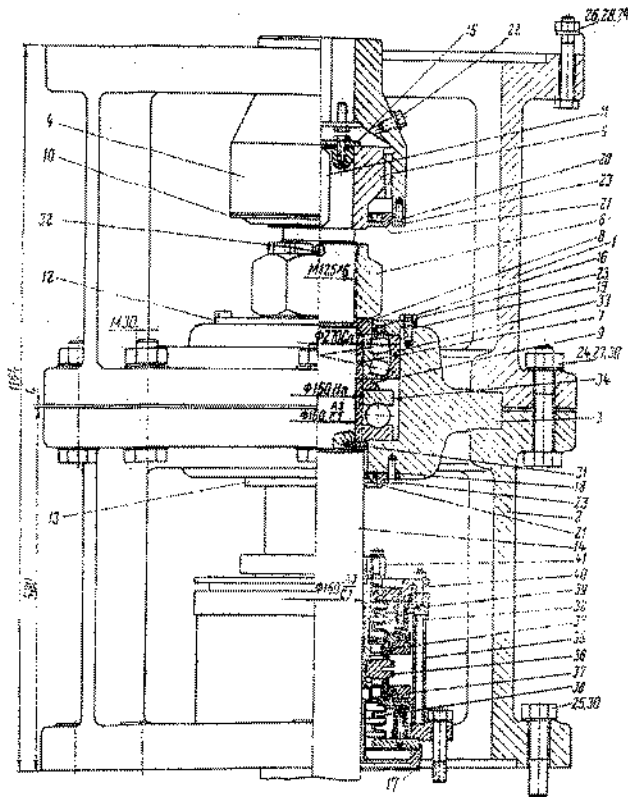


Рис. 4.7. Сійка приводу ферментера з торцевим ущільненням проходу вала:

- 1 – верхня сійка; 2 – нижня сійка; 3 – проміжна плита;
- 4 – зубчаста обійма; 5 – зубчаста втулка; 6, 27, 28 – гайки; 7 – стакан;
- 8, 9 – кільця; 10, 12, 13 – кришки; 11 – шпонка; 14 – вал мішалки;
- 15 – накладка; 16, 21 – манжети; 17, 18, 19, 20 – прокладки; 22 – корок;
- 23, 24, 25, 26 – болти; 29, 30 – шайби; 31 – гвинт; 32 – шплінт;
- 33 – роликовий дворядковий радіальний сферичний підшипник;
- 34 – кульковий опірний одинарний підшипник; 35 – корпус торцевого ущільнення;
- 36 – п'ята; 37 – ущільнювальне кільце; 38 – сиффон;
- 39 – пружина; 40 – втулка; 41 – водило

#### 4.1.5. Ферментер ВНДПрБ з форсуновою аерацією середовища

На рис. 4.8.1 та 4.8.2 зображено креслення ферментера конструкції ВНДПрБ об'ємом 15 м<sup>3</sup>, в якому повітря в живильне середовище надходить крізь 3 форсунки діаметром 6 мм. Ферментер має двоюрсну турбінну мішалку з торцевим ущільненням і швидкістю обертання 135 об/хв. Корпус виконаний зі сталі X18H10T. Робочий тиск в апараті 0,294 МПа. Електродвигун має потужність 28 кВт з частотою обертів 700 об/хв. Оболонка двосекційна, гладка із загальним об'ємом 2,5 м<sup>3</sup>.

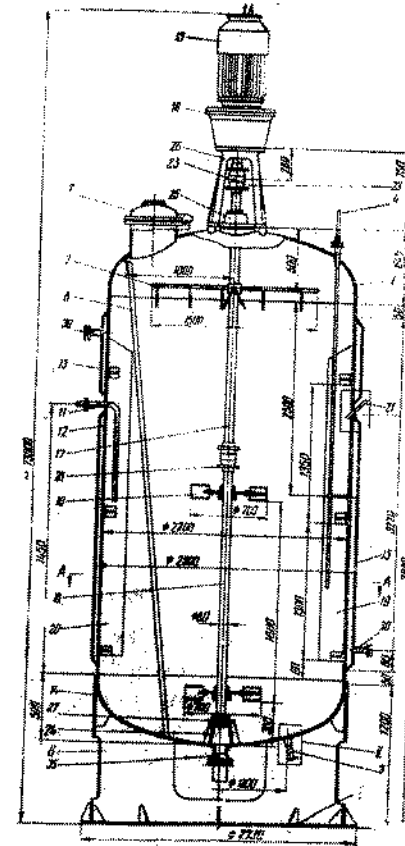


Рис. 4.8.1. Ферментер конструкції ВНДПрБ з форсуновою аерацією середовища об'ємом 15 м<sup>3</sup>

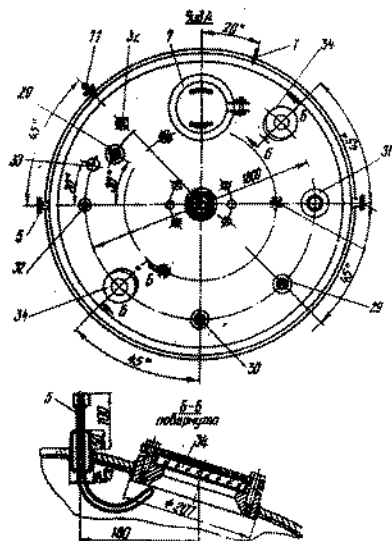
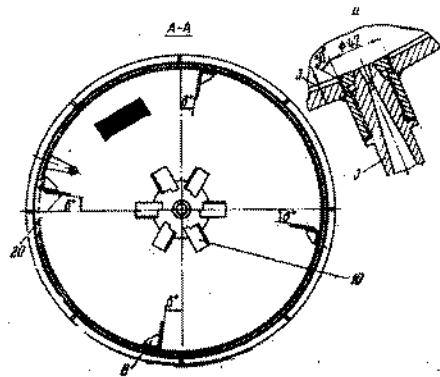


Рис. 4.8.2. Ферментер конструкції ВНДІПрБ з форсунковою аерацією середовища об'ємом 15 м<sup>3</sup>:

- 1 – кришка; 2 – бічі з прутами; 3 – повітряна форсунка; 4 – гільза термопар; 5 – пристрій для очищення оглядових вікон; 6 – опора; 7 – люк; 8 – драбина; 9 – куток; 10 – мішалка; 11 – штуцер для відбору проб; 12, 13 – корпус оболонки; 14 – днище; 15 – електродвигун; 16 – редуктор; 17 – верхній вал; 18 – нижній вал; 19, 20 – відбійники; 21 – гільза; 22, 24 – нижні стійки; 23, 28 – муфти; 25 – торцеве ущільнення; 26 – верхня стійка; 27 – підшипник; 29, 30, 31, 32, 33, 35 – штуцери; 34 – оглядове вікно

#### 4.1.6. Ферментер конструкції ЛенНДХіммашу

Особливістю цього ферментера з інтенсивним масообміном є наявність циркуляційного контуру: рідина гвинтом 2 (рис. 4.9) закидується в порожнину внутрішнього циліндра, утвореного трубами теплообмінного пристрою, піднімається вгору, повертає на 180°, проходить вниз і знову надходить до гвинта. Повітря подається за допомогою перфорованого короба 16. Завдяки високій швидкості виходу повітря диспергується на дуже дрібні бульбашки, які дуже повільно виходять з рідини. До того ж зберіганню псевдогомогенної структури аерованого середовища сприяє велике співвідношення висоти до діаметра – 3,5. Елементи апарата, які стикаються з культуральною рідиною, виконані з нержавіючої сталі X18H10T. Апарат розрахований на тиск 0,589 МПа. Він споряджений усіма необхідними засобами контролю й автоматики. Крім трубчастого теплообмінника, апарат споряджений ще водяною оболонкою.

#### Технічна характеристика ферментера конструкції ЛенНДХіммашу:

Загальний об'єм, м <sup>3</sup> .....	40
Робочий об'єм, м <sup>3</sup> .....	28
Коефіцієнт заповнення.....	0,7
Потужність електродвигуна перемішувального пристрою, кВт.....	125
Швидкість обертання робочого гвинта, об/хв.....	350 та 200

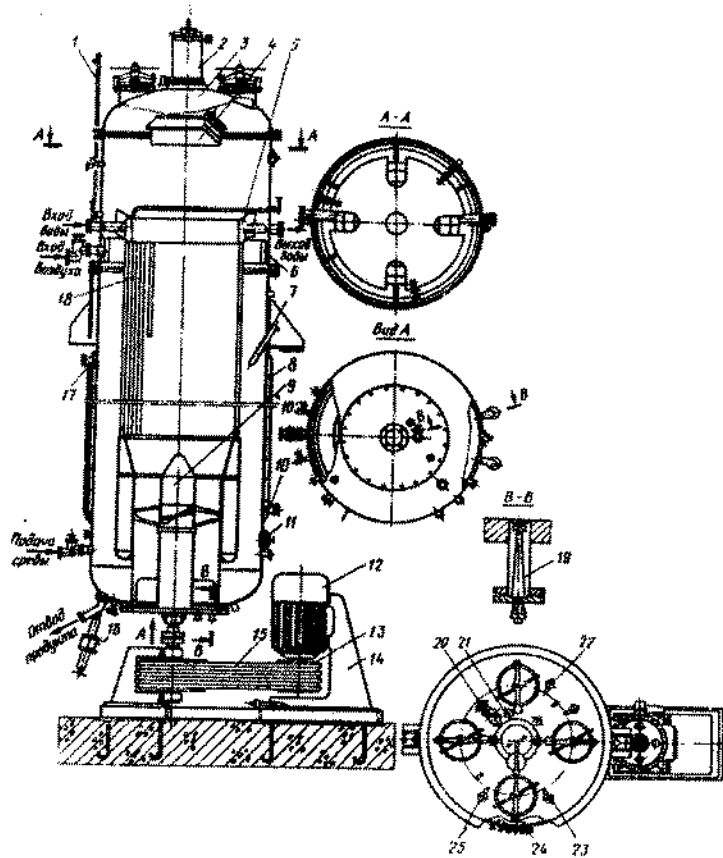


Рис. 4.9. Ферментер конструкції ЛенНДХіммашу об'ємом 40 м<sup>3</sup>:  
 1 – піногасниковий пристрій; 2 – перемішувальний пристрій (гвинт);  
 3 – кришка; 4 – вставка з теплообмінною камерою; 5 – відбійник;  
 6 – корпус; 7 – розвантажувальний пристрій; 8 – станина; 9 – гільза;  
 10 – герметичний привід; 11 – пристрій для відбору проб;  
 12 – труби теплообмінника (труби Піто); 13 – шків; 14 – електродвигун;  
 15 – клиноремenna передача; 16 – повітряний короб;  
 17 – патрубок для піногасника; 18 – гільза для манометра;  
 19 – патрубок для відводу повітря; 20 – гільза для запобіжного клапана;  
 21 – оглядове вікно; 22 – гільза для датчика контролю рівня піни;  
 23 – гільза для датчика температури;  
 24 – патрубок для введення охолоджувальної води;  
 25 – патрубок для виведення води;  
 26 – трубка для підводу повітря на продування

Апарат споряджений також механічним пристроєм для піногасіння, яке складається з 8 конічних тарілок, що обертаються зі швидкістю 1500 об/хв від незалежного електродвигуна потужністю 40 кВт (рис. 4.10).

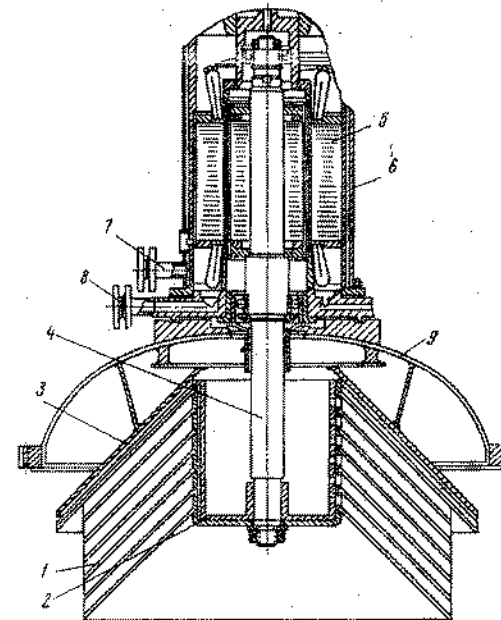


Рис. 4.10. Піногасниковий пристрій з герметичним приводом.  
 1 – конічна тарілка; 2 – циліндр (носій тарілок); 3 – відбійник; 4 – вал;  
 5 – вмонтований електродвигун; 6 – охолоджувальна оболонка;  
 7, 8 – патрубки для охолоджувальної води; 9 – кришка

#### 4.1.7. Ферментер зі спіральною оболонкою та вертикальним змішувачем

На рис. 4.11 зображено ферментер з механічним перемішуванням барботажного типу об'ємом 63 м<sup>3</sup>. На відміну від інших ферментерів відрізняється застосуванням оболонки, яка складається з 6–8 ярусів-секцій; кожна секція споряджена вісьмома навитими каналами, які виконані з кутникового профілю 100×60 мм. Крім того, ферментер має додатковий внутрішній теплообмінний

пристрій, який є вертикальною спіраллю (змійовик) з діаметром витків 600 мм, з кількістю витків 23 при загальній висоті змійовика 2,4 м, з площею теплообміну 45 м<sup>2</sup>.

Особливістю ферментера є й те, що кількість обертів мішалки регулюється безступенево за допомогою тиристорного перетворювача або застосуванням постійного струму для живлення електродвигуна в межах 110–250 об/хв.

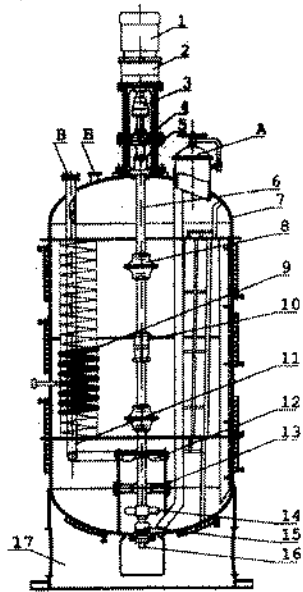


Рис. 4.11. Ферментер з механічним перемішуванням барботажного типу об'ємом 63 м<sup>3</sup>:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – муфта; 4 – підшипник; 5 – сальник; 6 – вал; 7 – корпус; 8 – турбінна мішалка; 9 – змійовик; 10 – муфта; 11 – труба для підводу повітря; 12 – лопатева мішалка; 13 – барботер; 14 – гвинтова мішалка; 15 – опірний підшипник; 16 – штуцер для спуску; 17 – оболонка; А – лаз-люк; В – патрубок завантаження; В – вхід повітря

Апарат споряджений двоярусною мішалкою із закритими турбінками діаметром 600–1000 мм при ширині лопаті 150–200 мм. Крім того, є додаткова відкрита турбінка для диспергування повітряних бульбашок. Барботер ромбовидний, розбірний, виконаний з перфорованих труб, у верхній частині яких в шаховому

порядку розташовано 2000–3000 отворів. Апарат розрахований на надлишковий робочий тиск 0,25 МПа. Висота стовпа рідини 5–6 м при висоті апарата більше 8 м.

#### 4.2. Ферментери з пневматичним перемішуванням

На рис. 4.12 показано схему ферментера з пневматичним перемішуванням (з аерліфтом). Вони прості за конструкцією, оскільки не мають механічних перемішувальних пристроїв, але оскільки рух рідини має вертикальні напрями, повітря швидше виходить з рідини, що призводить до більшої витрати стерильного аераційного повітря. Ферментери цього типу знаходять застосування у випадках, коли не потрібний високий коефіцієнт масообміну за киснем, а рідина має малу в'язкість.

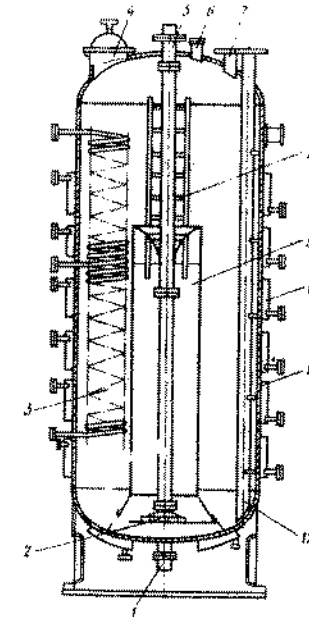


Рис.4.12. Схема ферментера з аерліфтом:

1 – штуцер для зливання рідини; 2 – аератор; 3 – внутрішній змійовик; 4 – люк; 5 – штуцер для подачі повітря; 6 – штуцер для відводу повітря; 7 – штуцер для завантаження; 8 – драбина; 9 – дифузор; 10 – секційна оболонка; 11 – корпус; 12 – труба перетискання



#### Технічна характеристика ферментерів з аерліфтом:

об'єм апарата, м <sup>3</sup> .....	25; 50; 63
робочий тиск, МПа.....	0,2–0,3
коефіцієнт заповнення.....	0,5
швидкість виходу повітря з аератора, м/с.....	25
коефіцієнт аерації.....	0,5–2

Принцип дії аерліфта полягає в тому, що повітря, яке надходить центральною трубою і змішується з важкою КР, утворює газоріднину суміш з меншою густиною, ніж дегазована рідина, внаслідок чого ця суміш піднімається по аерліфтовій трубі, виходячи з неї дегазується, опускається до низу ферментера і знову надходить в аерліфтову трубу, і, таким чином, постійно здійснюється перемішування КР.

#### 4.3. Інші конструкції ферментерів

Останнім часом все більше уваги приділяють розробці ферментерів, які забезпечують підвищений коефіцієнт масопередачі за киснем. До таких ферментерів належать апарати з інжекційною подачею повітря. Культиватор подібного типу для вирощування хлібопекарських дріжджів запропонований С.-Петербурзьським інститутом холодильної промисловості. Коефіцієнт масопередачі за киснем в кожухотрубних струминно-інжекційних апаратах (КСІА) досягає 9,5–12 кг О<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> год (1,5–3 в апаратах ВДА). Ступінь утилізації кисню досягає 25–28 % (5–10 % в традиційних дріжджевиросушувальних апаратах типу ВДА). На рис. 4.13 подано принципову схему КСІА, розробленого в Національному університеті “Львівська політехніка”

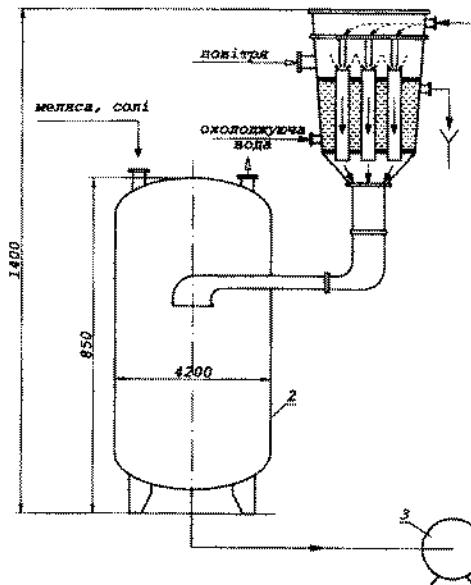


Рис. 4.13. Схема кожухотрубного струминно-інжекційного ферментера для вирощування хлібопекарських дріжджів:  
1 – кожухотрубний інжектор, 2 – приймальна смість об'ємом 125 м<sup>3</sup>,  
3 – циркуляційний насос

Культуральна рідина з приймальної смісті 2 надходить на вхід потужного відцентрового насоса 3, який здійснює циркуляцію і перемішування КР. Потік КР спрямовують в КСІА (1), в якому він розподіляється по багаточисленних соплових виходах. Потоки спрямовують у відповідні приймальні трубки. Потоки засмокчують повітря; повітродієнні потоки об'єднуються в нижній частині КСІА в один, і вже цей потік надходить в смість 2. Приймальні трубки одночасно виконують роль поверхні теплообміну як у звичайних кожухотрубних теплообмінниках.

Схожа за принципом дії, але менш надійна з погляду забезпечення стерильності, конструкція струминно-інжекційного апарата, призначеного для культивування кормових дріжджів, зображена на рис. 4.14.

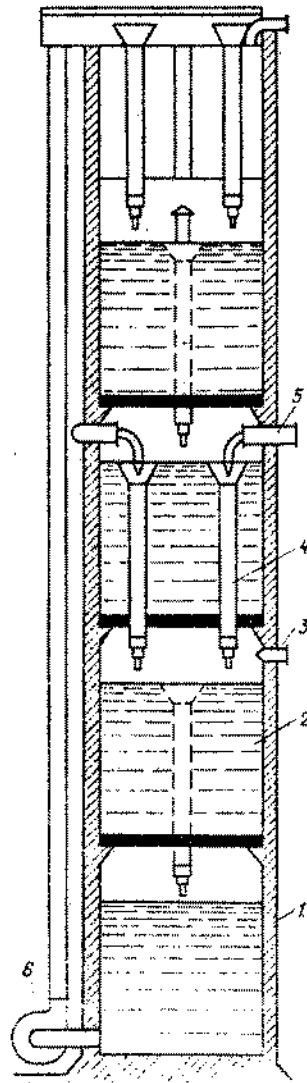


Рис. 4.14. Принципова схема струминного ферментера:  
 1 – корпус; 2 – секції;  
 3 – патрубок для викиду відпрацьованого газу;  
 4 – труби для зливання; 5 – газопідвідна труба;  
 6 – циркуляційний насос

Циркуляційним насосом 6 КР подають у верхню секцію апарата. Після її заповнення до певного рівня рідина починає зливатись по трубках 4, спорядженими інжекційними лійками, на нижню секцію, одночасно засмокчуючи повітря, яке надходить по патрубках 5. На більш низькій секції відбувається ферментація, відпрацьоване повітря виходить з апарата по трубці 3, а рідина зливається по загальній трубці на ще нижчу секцію, на якій повторюється процес інжекції повітря. Таких подвійних секцій може бути встановлено до 10 і більше та апарат є за своєю суттю колоною.

Апарати колонного типу все частіше використовують у багатотоннажних виробництвах. Вважають (Вієстур, 1972), що для культур, які не утворюють міцелію і мають невелику в'язкість, апарати колонного типу з контактними пристроями мають переваги перед апаратами з механічним перемішуванням. На рис. 4.15 зображено колонний апарат з переливними тарілками. Подачу ЖС можна здійснювати як зверху, так і знизу колони. Колона складається з окремих царг, кожна з яких має сітчасті тарілки, оболонку для охолоджувальної води і переливні пристрої. Повітря подається центральною трубою і вводиться під кожен тарілку. У першому випадку кожна тарілка виконує роль окремого ферментера з висотою шару КР на тарілці 125 мм, а колона в цілому працює як багатоступеневий ферментер безперервної дії. У другому випадку ферментер працює як одноступеневий з повним заповненням ферментера, а контактні пристрої (тарілки) вирівнюють потоки аераційного повітря. Розрахунок показує, що при однаковій ефективності об'єм такого ферментера в 6–7 разів менше традиційного без контактних пристроїв і з перемішуванням культуральної рідини газовою фазою.

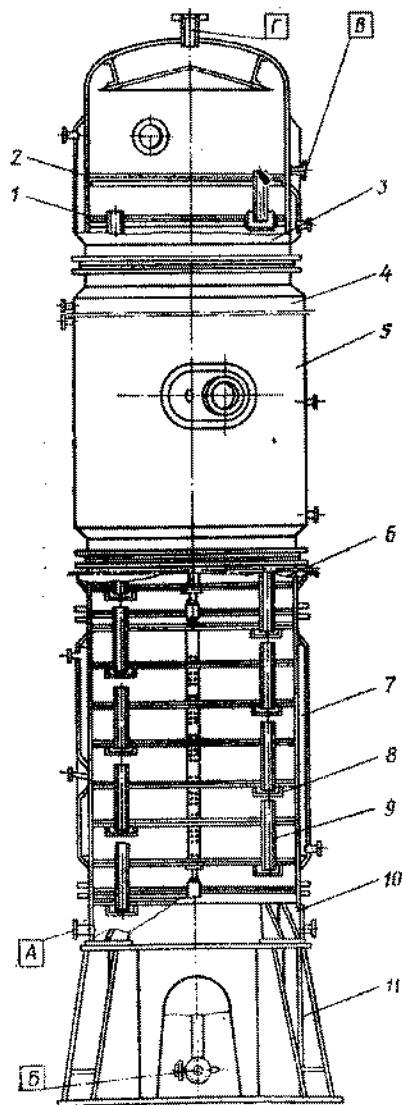


Рис. 4.15. Принципова схема ферментера колонного типу з сітчастими тарілками.

1, 2 – тарілка верхня; 3 – царга верхня; 4, 5, 6, 7 – царги;  
 8 – чаша гідрозатвору; 9 – переливна трубка; 10 – лапа; 11 – опора;  
 А – вивід КР або підвід ЖС; Б – підвід стерильного повітря;  
 В – підвід ЖС або вивід КР; Г – вивід відпрацьованого повітря

На рис. 4.16 зображено схему секціонованого ферментера Б-50. Апарат є дванадцятигранником, розділений на секції вертикальними перегородками. Всі секції послідовно сполучені між собою. Для подачі повітря і перемішування КР в кожній секції змонтований ежектор, який обертається від двигуна, встановленого на кришці ферментера. Ежектор є двоярусною конструкцією з нижньою та верхньою горловинами для входу і виходу рідини. Повітря засмокчується ежектором і рухається по трубі, яка герметично з'єднана з турбіною. Для створення необхідної циркуляції КР в кожній секції змонтовані дифузори, перегородки, конічні вставки. На дифузорах змонтовані зміювико-теплообмінники для охолодження КР.

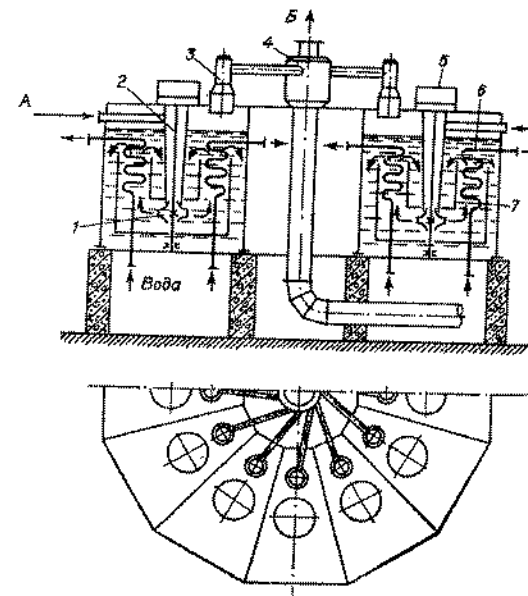


Рис. 4.16. Схема ферментера з турбоежекторними перемішувальними пристроями:

1 – ежекційний пристрій; 2 – повітровід; 3 – піногасник; 4 – сепаратор;  
 5 – привід турбоежектора; 6 – теплообмінник; 7 – дифузор;  
 А – увід повітря; Б – вивід відпрацьованого повітря

Такі апарати мають загальний об'єм від 400 до 1300 м<sup>3</sup> і широко застосовуються у виробництві кормових дріжджів на рідких n-парафінах газових фракцій нафти [9,10].

На рис 4.17 зображено схему ферментера, який є нахиленою під невеликим кутом цистерною, розділеною на секції внутрішніми перегородками. За суттю це також багатоступеневий апарат для безперервного культивування. У кожній секції може бути встановлений індивідуальний перемішувальний пристрій або пристрій із загальним приводом. Такі апарати широко застосовують у процесах бродіння, де не потрібне інтенсивне перемішування з метою досягнення певного рівня масопередачі за киснем, наприклад, під час метанового бродіння. Перед несекціонованим реактором секціонована цистерна має ту саму перевагу, як багатоступеневий ферментер перед одноступеневим.

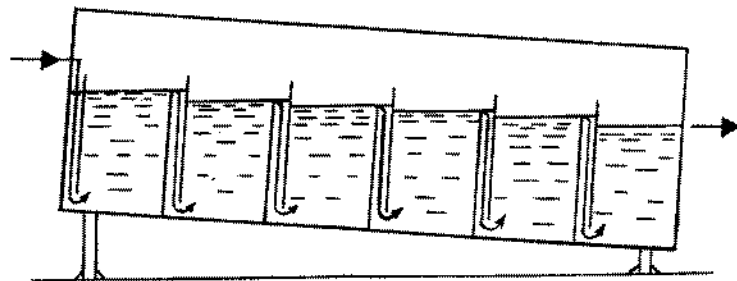


Рис. 4.17. Схема ферментера у вигляді секціонованої цистерни

На рис. 4.18 зображено схему ферментера горизонтального типу конструкції ЛенНДХімашу. Ферментер є замкнутою системою з двох горизонтально розташованих труб, споряджених оболонками для відводу тепла. На одній з секцій розташований електропривод з мішалкою гвинтового типу. Кожна секція споряджена також заспокоювачем, який є пакетом тонких вертикальних пластин, розташованих вздовж потоку середовища

по усій висоті секції. Для виводу відпрацьованого повітря передбачені сепаратори з механічним пристроєм дискового типу для руйнування піни. Обертанням дросельних заслінок регулюють інтенсивність перемішування. Об'єм апарата – 100 м<sup>3</sup>. Основні переваги горизонтального ферментера перед вертикальним: менша металомісткість, відсутність застійних зон, легка транспортабельність.

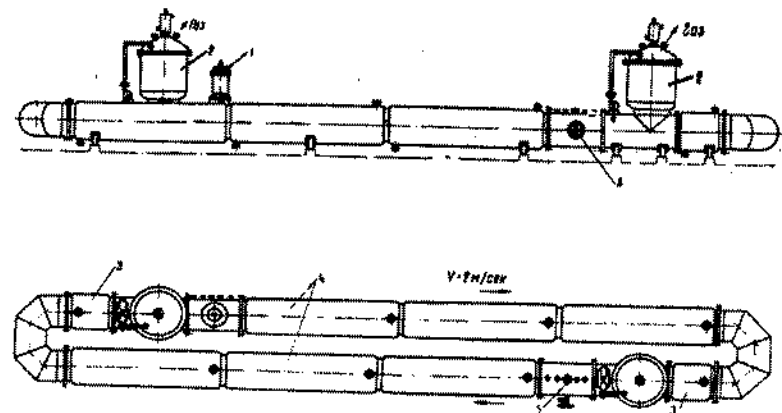


Рис. 4.18. Горизонтальний ферментер конструкції ЛенНДХімашу:  
1 – привід; 2 – сепаратор; 3 – заспокоювач; 4 – секції труб;  
5 – дросельна заслінка

У тому ж ЛенНДХімаші розроблений високоефективний з погляду масопередачі кисню ферментер вертикального типу (ферментер Вишневського) (рис. 4.19). Особливістю цього апарата є наявність винесеного пінного сепаратора і циркуляційного контуру. Перемішування здійснюється гвинтовим насосом, встановленим у верхній частині реактора. Привод з'єднаний з герметичним електродвигуном, безпосередньо з'єднаного з валом насоса; при цьому цей вузол немає будь-якого ущільнювального пристрою, оскільки ротор двигуна відділений від статора герметичною оболонкою.

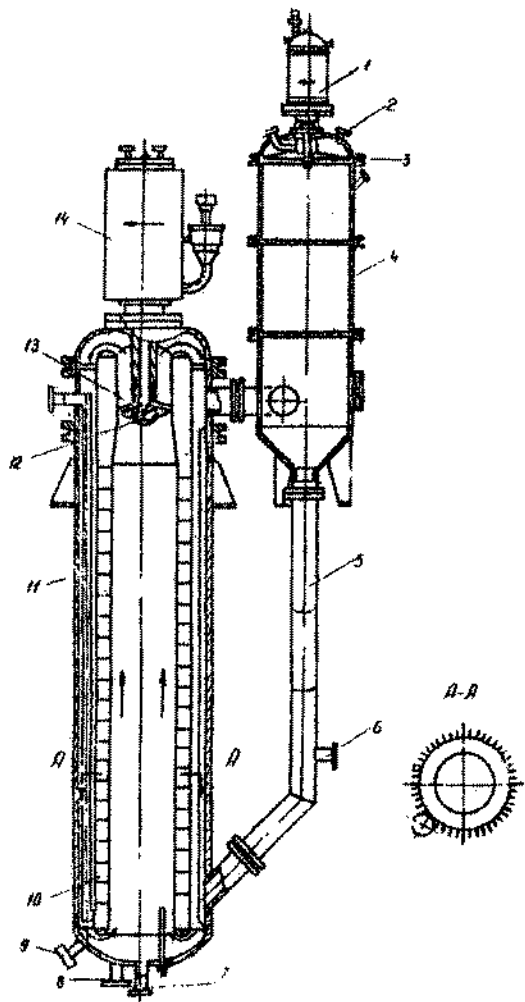


Рис. 4.19. Ферментер Вишневського:  
 1 – герметичний привід сепаратора; 2 – штуцер для виходу повітря;  
 3 – крильчатка з лопатями; 4 – сепаратор;  
 5 – зовнішній циркуляційний контур;  
 6 – штуцер для завантаження середовища; 7 – випускний штуцер;  
 8 – пробовідбірник; 9 – штуцер для подачі аеруючого повітря;  
 10 – теплообмінник; 11 – корпус реактора;  
 12 – гвинтовий перемішувальний пристрій; 13 – дифузор;  
 14 – герметичний привід реактора

Крім вказаних конструкцій, існує велика кількість апаратів інших різноманітних конструкцій, але в більшості з них використані ті самі принципи, як і у вказаних, або поєднують в одному апараті декілька відомих принципів. Наприклад, у ферментері фірми "Хемап", поєднані електромеханічна багатоярусна турбінна мішалка з дифузором, характерним для конструкцій з аерліфтним перемішувальним пристроєм тощо. Ведуть розробки біореакторів з кульовою або яйцеподібною формою корпусу. Експерименти показують, що ці конструкції ефективніші, ніж традиційні циліндричної форми, але виготовлення їх в масовому порядку є проблематичним.

#### 4.4. Типова обв'язка ферментера

На рис. 4.20 зображена типова схема обв'язки ферментера.

Крім самого ферментера (1), спорядженого оболонкою (2), барботером (3), багатоярусною турбінною електромішалкою (4), до складу вузлів ферментера входять:

– сателітарні ємності-вимірники (5а та 5б), в які з вузла приготування лугів та кислот закачують відповідно розчини цих кислот та лугів; їх додають з метою регулювання рН культуральної рідини;

– ємність-вимірник піногасника (6), спорядженого змішувачем (7), в який подають пару для нагрівання антипінного агента та його стерилізації;

– індивідуальні фільтри для остаточної стерилізації повітря (8а та 8б) (один в резерві);

– водяний поглинач вологи з відпрацьованого повітря (9).

Введення живильного середовища (ЖС), посівного матеріалу (ПМ), підживлювальних розчинів солей або інших компонентів (ПК1 та ПК2), розчинів кислот та лугів, піногасника здійснюють через багатокорпусний стерильний вентиль (10).

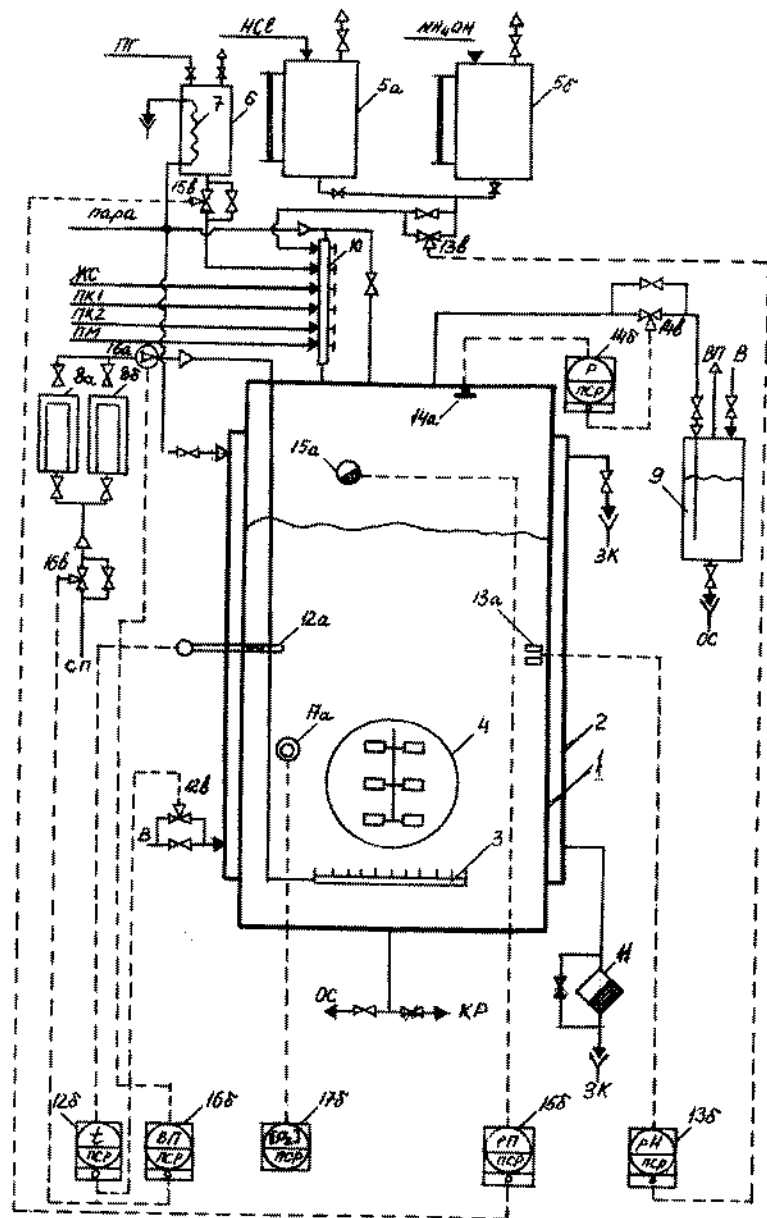


Рис. 4.20. Типова схема обв'язки ферментера (пояснення в тексті)

Введення охолоджувальної води (В) в оболонку ферментера здійснюють знизу, а вивід – зверху. Відпрацьовану воду спрямовують у зворотну каналізацію (ЗК) на загальнозаводські градирні. Пару, яку потрібно нагріти ЖС або КР під час ферментації з метою досягнення певного значення температури, подають у верхній штуцер оболонки, а вивід пароконденсатної суміші здійснюють знизу через конденсаційний горщик (11).

Вивід КР з ферментера на насос здійснюють знизу. Знизу виводять також промивну воду і пароконденсат після стерилізації апарата; їх спрямовують у каналізацію на очисні споруди (ОС).

Для промивання і стерилізації ферментера передбачають окремий штуцер для введення води та пари.

Обов'язковими для контролю або автоматичного регулювання є такі показники:

- температура КР (датчик, контрольно-вимірювальний прилад з автоматичним регулюванням витрати охолоджувальної води – відповідно, 12а, 12б та 12в);
- рН КР (13а, 13б, 13в);
- тиск у ферментері (14а, 14б, 14в);
- рівень піни (15а, 15б, 15в);
- витрата стерильного повітря (16а, 16б, 16в);
- концентрація кисню в КР (17а, 17б).

Крім контролю вказаних показників, можуть бути передбачені контроль та автоматичне регулювання частоти обертання мішалки, температури охолоджувальної води, концентрації  $\text{CO}_2$  у середовищі та на виході, окислювально-відновлювальний потенціал, в'язкості середовища, вологості повітря на виході, витрати підживлювальних розчинів, концентрації біомаси тощо.

#### Список літератури до глави 4

1. Колосков В.П., Яровенко В.Л., Стабников В.Н., Устинников Б.А. Оборудование спиртовых заводов. – М.: Пищ. про-сть, 1975. – 295 с.
2. Голгер Л.И., Калуняц К.А. Модернизированная и новая аппаратура для производства ферментных препаратов. – М., 1970. – 72 с.

3. Гапонов К.П. Процессы и аппараты микробиологических производств. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. – 240 с.
4. Аткинсон Б. Биохимические реакторы. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 280 с.
5. Виестур У.Э., Шмите И.А., Жилевич А.В. Биотехнология. Биотехнологические агенты, технология, аппаратура. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.
6. Кестельман В.Н., Веселов А.И. Оборудование для глубинного культивирования микроорганизмов в бродильной и микробиологической промышленности. Обзор. – М., 1970.
7. Винаров А.Ю. и др. Ферментеры колонного типа для микробиологических процессов. Обзор. – М., 1976.
8. Смирнов Н.Н. Биохимические реакторы. – Л.: Химия, 1987. – 72 с.
9. Яковлев В.И. Технология микробиологического синтеза. – Л.: Химия, 1987. – 272 с.
10. Андреев А.А., Брызгалов Л.Н. Производство кормовых дрожжей. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 296 с.