

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні рекомендації
щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Харків – 2024

Рецензенти:

С. О. Губський – к. т. н., доц., доц. кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

О. В. Наглов – доцент ЗВО кафедри біохімії біологічного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 11 від 27 вересня 2024 року)*

Процеси і апарати біотехнологічних виробництв : методичні рекомендації щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / уклад. Є. Г. Іванов. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с.

Методичні рекомендації для студентів біологічного факультету спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» містять рекомендації щодо вивчення дисципліни. Рекомендації складено відповідно до програми дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв», яка викладається студентам 2 курсу спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» біологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

УДК 602.4-7(072)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2024
© Іванов Є. Г., уклад., 2024

ЗМІСТ

1. Мета, завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі.....	4
2. Загальні відомості про склад самостійної роботи.....	6
3. Проробка лекційного матеріалу	7
4. Підготовка до практичних занять і лабораторних робіт.....	7
5. Проробка окремих розділів навчальної програми, які не викладалися на лекціях.....	9
Тема 1 Теорія подібності процесів та апаратів	10
Тема 2 Розділення газів	15
Тема 3 Способи нагрівання. Нагрівання електричним струмом	18
Тема 4 Спиральні, пластинчасті теплообмінники.....	20
Тема 5 Адсорбенти.....	22
Тема 6 Перспективні способи сушіння вологих матеріалів.....	24
Список використаної літератури	27

1. Мета, завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі

Навчальна дисципліна «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» входить до циклу професійної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» за освітньо-професійною програмою «Біотехнології та біоінженерія».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є сучасне технологічне та допоміжне обладнання, яке використовується для проведення типових процесів на стадіях біотехнологічного виробництва.

Мета дисципліни – засвоєння здобувачами вищої освіти сучасних знань про устрій, принципи роботи технологічного обладнання, що використовується для здійснення типових процесів біотехнологічних виробництв, фізико-хімічні основи та закономірності протікання цих процесів (абсорбція, ректифікація, сушіння тощо).

Завдання дисципліни – формування теоретичних знань та практичних навичок у майбутніх фахівців відповідно до поставленої мети, надання здобувачам базових знань про закономірності перебігу технологічних процесів та їх апаратурного оснащення.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти повинні засвоїти наступні **компетентності**:

K01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

K05. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

K17. Здатність використовувати методології проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

K19. Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

K20. Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

Програмні результати навчання:

ПР02. Вміти здійснювати якісний та кількісний аналіз речовин неорганічного, органічного та біологічного походження, використовуючи відповідні методи.

ПР05. Вміти аналізувати нормативні документи (державні та галузеві стандарти, технічні умови, настанови тощо), складати окремі розділи технологічної та аналітичної документації на біотехнологічні продукти різного призначення; аналізувати технологічні ситуації, обирати раціональні технологічні рішення.

ПР15. Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло-та масообмінних процесах та основні конструкторські особливості, вміти обирати відповідне устаткування в процесі проектування

виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності.

ПР17. Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва.

ПР18. Вміти здійснювати обґрунтування та вибір відповідного технологічного обладнання і графічно зображувати технологічний процес відповідно до вимог нормативних документів з використанням знань, одержаних під час практичної підготовки.

2. Загальні відомості про склад самостійної роботи

Самостійна робота здійснюється методом індивідуального вивчення кожним здобувачем певних розділів навчальної програми з використанням рекомендованої літератури та консультацій ведучого викладача. Самостійна робота виконується за такими розділами:

№ з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин	
		очна форма навчання	заочна форма навчання
1	Проробка лекційного матеріалу	10	5
2	Підготовка до лабораторних робіт	6	1
3	Підготовка до практичних занять	14	2
4	Проробка питань програми, які не викладались на лекціях:	18	38
4.1	Теорія подібності процесів і апаратів		
4.2	Розділення газів		
4.3	Промислові способи нагрівання		
4.4	Спиральні, пластинчасті теплообмінники		
4.5	Адсорбенти		
4.6	Перспективні способи сушіння вологих матеріалів		
4.7	Сучасний стан енергетичних ресурсів світу		
4.8	Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії		
4.9	Цикли паросилових установок		
4.10	Ексергія		
5	Контрольна робота		30
6	Курсовий проєкт	4	20
7	Підготовка до заліку, екзаменів	4	4
Разом		56	100

3. Проробка лекційного матеріалу

Протягом навчального семестру кожен здобувач повинен систематично самостійно проробляти теоретичний матеріал, який викладається на лекційних заняттях. Контроль засвоєння лекційного матеріалу здійснюється шляхом усного опитування упродовж змістових модулів.

При засвоєнні лекційного матеріалу здобувачі користуються навчальною літературою та навчально-методичними матеріалами, перелік яких рекомендується викладачем.

4. Підготовка до практичних занять і лабораторних робіт

У процесі вивчення дисципліни для закріплення та поглиблення теоретичних знань, отриманих на лекціях, студенти повинні виконати завдання, які виносяться на практичні заняття, і лабораторні роботи згідно з методичними вказівками.

Перелік практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи раціональної побудови апаратів	1
2	Конструкційні матеріали	1
3	Компресори, вентилятори	1
4	Багатоступеневе стиснення в компресорах	1
5	Псевдозрідження	1
6	Фільтрування	1
7	Центрифугування	1
8	Розрахунок теплообмінників	1
9	Матеріальний і тепловий баланс процесу випарювання	1
10	Матеріальний баланс процесу абсорбції	1
11	Визначення параметрів сушильного агенту	1
12	Основні параметри стану і закони ідеальних газів	1
13	Перший закон термодинаміки	1
14	Термодинамічні процеси	1
15	Параметри стану водяної пари	1
16	Витікання і дроселювання газів і пари	1

Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення гідравлічних опорів трубопроводів	4
2	Вивчення гідродинаміки «киплячого» шару	4
3	Визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів	4
4	Теплопередача в теплообміннику періодичної дії	4
5	Визначення коефіцієнта тепловіддачі	4
6	Випробовування конвективної сушарки	4
7	Випробовування ректифікаційної колони періодичної дії	4
8	Визначення холодильного коефіцієнта компресійної холодильної машини	4
Разом		32

5. Проробка окремих розділів навчальної програми, які не викладалися на лекціях

У процесі самостійної роботи кожен здобувач повинен самостійно вивчити наступні теми:

1.	Тема 1	Теорія подібності процесів і апаратів
2.	Тема 2	Розділення газів
3.	Тема 3	Промислові способи нагрівання
4.	Тема 4	Спіральні, пластинчасті теплообмінники
5.	Тема 5	Адсорбенти
6.	Тема 6	Перспективні способи сушіння вологих матеріалів

ТЕМА 1

Теорія подібності процесів та апаратів

Поняття подібності явищ

Вивчення процесів з метою одержання рівнянь, необхідних для їх аналізу та розрахунків, можна проводити чисто теоретично. Цей найбільш досконалий шлях дослідження зводиться до складання та розрахунку математичних залежностей, частіше всього диференціальних рівнянь, які повністю описують процес. Прикладом важливих для практики розрахункових залежностей, одержаних рішенням відповідних диференціальних рівнянь, є основне рівняння гідростатики та рівняння Бернуллі.

Диференціальні рівняння описують цілий клас однорідних по своїй суті явищ, і для виділення із нього конкретного явища необхідно звужити вказані рівняння додатковими умовами (умовами однозначності).

Умови однозначності містять: геометричну форму та розміри системи, суттєві для даного процесу фізичні константи речовин, які беруть в ньому участь, початкові умови, граничні умови і т.д.

Теорія подібності є вченням про методи наукового узагальнення експерименту. Вона вказує, як треба ставити досліди і як обробляти їх результати, щоб при проведенні невеликої кількості дослідів мати змогу узагальнити дослідні дані та одержати єдине рівняння для всіх подібних явищ. Це дозволяє замість промислового устаткування виконувати досліди на моделях значно меншого розміру.

Методи теорії подібностей лежать в основі масштабування та моделювання процесів.

Моделюванням називається метод вивчення реального або створюваного об'єкта (оригіналу), при якому замість нього використовується модель, а результати поширюються на оригінал. Суть моделювання полягає в прогнозуванні поведінки оригіналу в робочих умовах виробництва за вимірними параметрами моделі. Методи моделювання засновані на подібності різних об'єктів. Подібними називають процеси, математичні описи яких представлені в узагальнених змінних, що охоплюють групи подібних об'єктів або явищ.

В курсі ПАБВ розглядається і використовується фізична подібність стосовно переносу різних субстанцій для дуже широкого кола задач – від загальнотеоретичних описів до прикладних розрахункових формул.

Симплекси і критерії подібності

Два фізичні явища подібні, якщо в подібних точках геометрично подібних систем однойменні характеристики розрізняються тільки за

постійними коефіцієнтами (множниками подібності). Математичні описання подібних систем ідентичні.

В якості прикладу розглянемо процес течії рідини у виробничому трубопроводі (оригіналі) та його зменшеній моделі (рис. 1.1).

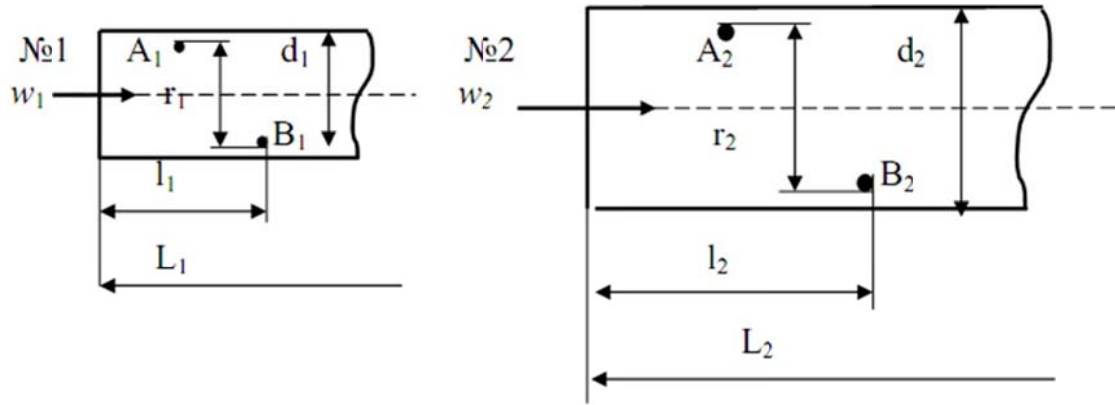


Рис. 1.1. Подібні течії: модель (№ 1) та оригінал (№ 2)

Нехай є два геометрично подібні канали малого і великого розмірів. Виберемо в малому (1) і великому (2) каналах дві пари подібних точок A_1 і A_2 , B_1 і B_2 , причому для кожної пари характерна своя геометрична подібність типу $r_1/l_1 = r_2/l_2$. Відношення $r_1/r_2 = l_1/l_2 = m_r$ являє собою множник геометричної подібності, постійний для будь-якої пари подібних точок в розглянутих каналах. За визначенням фізичної подібності як для пари точок A_1 і A_2 , так і для B_1 і B_2 (взагалі для будь-якої пари подібних точок в моделі та оригіналі) характерні співвідношення:

$$\frac{x_1}{x_2} = m_x; \frac{y_1}{y_2} = m_y; \frac{z_1}{z_2} = m_z \text{ і т.п.}, \quad (1.1)$$

причому m_x, m_y і т.д. – множники подібності, що відрізняються для різних характеристик, але однакові в межах однієї з них для кожної пари подібних точок. У цьому сенсі кожен множник подібності виступає в якості масштабної характеристики відповідної фізичної величини.

Подібність потоків в оригіналі і моделі можна схарактеризувати також за допомогою інваріантів подібності, тобто у вигляді відношень подібних величин у межах кожної системи. Так,

$$\frac{l_1}{L_1} = \frac{l_2}{L_2} = idem = i_l, \quad (1.2)$$

де *idem* означає інваріантно або «одне і те ж».

Величина i_l являє собою інваріант подібності геометричних величин.

Інваріанти подібності, виражені відношенням двох однорідних фізичних величин з однаковими розмірностями, називаються симплексами.

Однак інваріанти подібності можуть бути виражені також відношеннями різнорідних величин, тобто являти собою їх безрозмірні комплекси. Наприклад, для подібних точок в оригіналі та його моделі рівні інваріанти подібності, що складаються з різних фізичних величин:

$$\frac{w_1 \cdot d_1 \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{w_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2} = idem = Re \text{ (критерій Рейнольдса)}. \quad (1.3)$$

Безрозмірні комплекси, складені за таким типом, називаються критеріями подібності. Останні завжди мають фізичний зміст, будучи мірою співвідношення між якимись двома ефектами (силами і т.п.), важливими для розглянутого процесу. Критерії подібності мають всі властивості інваріантів: вони безрозмірні, можуть змінювати свою величину від точки до точки даної системи і т.д.

Критерії подібності можуть бути отримані для будь-якого процесу, якщо звести аналітичні залежності між характеризуючими його величинами диференціальні рівняння, що описують процес.

Технологічні процеси подібні при умовах спільного дотримання геометричної та часової подібності, подібності поля фізичних величин, а також подібностей початкових та граничних умов.

Часова подібність характеризується тим, що подібні частки, рухаючись по геометрично подібних траєкторіях, проходять геометрично подібний шлях за певний час, відношення яких є постійною величиною

$$\frac{T}{T_1} = \frac{\tau}{\tau_1} = \frac{\tau_2}{\tau_3} = const = k_\tau, \quad (1.4)$$

де $\frac{T}{T_1}$ – час проходження подібними частками всього трубопроводу;

t, t_1, t_2, t_3 – час проходження подібними точками подібних шляхів l, l_1, l_2 і т.п.;

k_τ – константа часової подібності.

При виконанні геометричної та часової подібності буде виконуватись і швидкісна подібність:

$$\frac{w}{w_1} = \frac{w_2}{w_3} = const, \quad (1.5)$$

де w – характеристична швидкість.

Константи подібності k_w, k_t і т.д., які виражають відношення різних одноіменних величин в оригіналі і моделі, постійні для різних подібних точок подібних систем, але змінюються в залежності від співвідношення розмірів натури та моделі.

Теореми подібності

I теорема подібності (Ньютон): при подібності систем завжди можуть бути знайдені такі безрозмірні комплекси величин, які для схожих точок даних систем однакові, або подібні ті явища характеризуються чисельно рівними критеріями подібності. Це можна показати на прикладі руху тіл – другого закону Ньютона.

$$F = ma = m \frac{d\omega}{d\tau} \quad (1.6)$$

$$F' = m' \frac{d\omega'}{d\tau'} \quad (1.7)$$

$$F'' = m'' \frac{d\omega''}{d\tau''} \quad (1.8)$$

де w – швидкість.

При подібному русі часток після схожих точок природи та моделі константи подібності можна виразити відношеннями:

$$\frac{m'}{m''} = \kappa_m; \frac{\omega'}{\omega''} = \kappa_\omega; \frac{\tau'}{\tau''} = \kappa_\tau \quad (1.9)$$

Як наслідок

$$\frac{F'}{F''} = \kappa_F \quad (1.10)$$

$$\frac{F'}{F''} = \frac{m' \frac{d\omega'}{d\tau'}}{m'' \frac{d\omega''}{d\tau''}} = \frac{m' d\omega' d\tau''}{m'' d\omega'' d\tau'} \quad (1.11)$$

$$\text{або } \kappa_F = \frac{\kappa_m \kappa_\omega}{\kappa_\tau} \quad (1.12)$$

$$C = \frac{\kappa_F \kappa_\omega}{\kappa_m \kappa_\tau} = 1 \quad (1.13)$$

де k – коефіцієнт.

Величину C , складену із констант подібності, називають індикатором подібності. Заміняючи константи подібності відношеннями згідних величин та розподіливши всі величини для оригіналу в ліву частину, а для моделі – в праву, знаходимо:

$$\frac{F' \tau'}{m' \omega'} = \frac{F'' \tau''}{m'' \omega''} \quad (1.14)$$

Таким чином, одержано безрозмірний комплекс величин, значення якого однакові для схожих точок обох систем. Цей комплекс називають критерієм Ньютона:

$$\frac{F\tau}{m\omega} = N_I \quad (1.15)$$

або враховуючи, що $\tau = \frac{l}{\omega}$, то $\frac{F \cdot l}{m\omega^2} = N_{II}$ (1.16)

На основі виразу 1.13 перша теорема подібності може бути сформульована також наступним чином: у подібних явищ індикатори подібності рівні одиниці.

Друга теорема подібності (Бекенгем): розв'язання будь-якого диференціального рівняння, яке зв'язує між собою змінні, які впливають на процес, може бути представлено у вигляді залежності між безрозмірними комплексами цих величин, отже, між критеріями подібності.

Теорема відповідає на питання, як обробляти результати дослідів, проведених на моделях: їх треба представляти у вигляді функціональної залежності між критеріями подібності.

Третя теорема подібності (Кирпичьов, Гухман) формулює необхідні та достатні умови подібності явищ: подібні ті явища, які описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь та у яких додержується подібність умов однозначності. Ця теорема може бути сформульована і так: явища подібні, якщо їх визначальні критерії чисельно рівні.

Контрольні питання

1. Розкрийте значення диференціальних рівнянь в описі технологічних процесів.
2. Поясніть сутність теорії подібності.
3. Наведіть приклади подібних явищ та процесів.
4. Сформулюйте теореми подібності.
5. Наведіть приклади критеріальних рівнянь.

ТЕМА 2

Розділення газів

Найпростішим пристроєм для відцентрового розділення газових і рідких неоднорідних систем є відповідно циклони і гідроциклони. Вони відзначаються простою будовою, компактністю, не мають рухомих частин. До недоліків циклонів відносяться невисока ступінь розділення, порівняно високий гідравлічний опір.

Циклон для очищення газу (рис. 2.1) складається з вертикального циліндричного корпусу (5) з конічною частиною (2). Запилений газ надходить тангенціально з великою швидкістю (10–40 м/с) через патрубок (4) у верхню частину корпусу циклона. У корпусі цей потік запиленого газу рухається вниз по спіралі вздовж внутрішньої поверхні стінки циклона. При цьому важкі частинки пилу під дією відцентрової сили відкидаються на периферію, осідають на внутрішній поверхні корпусу, а потім сповзають у конічну частину (2) і видаляються через патрубок (1). Звільнений від завислих частинок потік газу виводиться з циклона через вивідну трубу (5).

Процеси подрібнювання сировини, сортування, сушіння та транспортування сипких матеріалів здебільшого супроводжуються пилоутворенням. Пил являє собою суміш газу чи повітря і твердих частинок розміром 3–100 мкм. Необхідність виділення твердих частинок із пилу продиктована двома обставинами:

- 1) необхідністю уловлювати з газів цінні продукти і повернення їх у виробництво;
- 2) необхідністю зменшення забруднення навколишнього середовища і забезпечення безпеки виробництва.

Частинки пилу мають електричний заряд, якого вони набувають шляхом адсорбції іонів із повітря або внаслідок тертя о тверду поверхню апарата (машини), робота якого супроводжується пилоутворенням. Великі та дрібні частинки заряджаються протилежними зарядами. При досягненні визначеної концентрації твердих частинок пилу в повітрі можливий вибух, при якому в замкненому просторі розвивається великий тиск.

Для очищення газових потоків від завислих частинок використовується декілька способів: осадження під дією сили тяжіння, інерційних та відцентрових сил, фільтрування через пористу перегородку, мокре очищення та осадження в електричному полі. Для досягнення необхідного

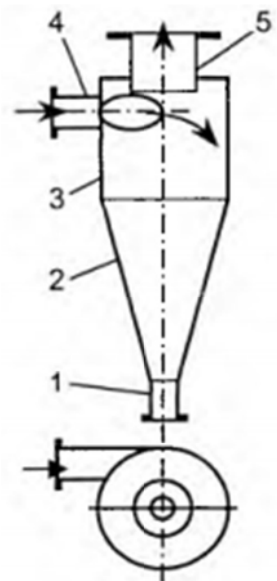


Рис. 2.1.
Схема циклона

ступеня очищення газового потоку використовують і комбінації цих способів.

Ефективність апаратів для поділу газових неоднорідних систем оцінюється ступенем очищення (η у %):

$$\eta = \frac{100 \cdot (x_1 - x_2)}{x_1}, \quad (2.1)$$

де x_1 і x_2 – концентрація завислих частинок відповідно в запиленому і очищеному газі.

Для розділення газових неоднорідних систем можна використовувати гравітаційні відстійники, однак ступінь очищення газу від пилу в них майже ніколи не перевищує 50%. Серед промислових методів розділення газових неоднорідних систем значне місце займає осадження твердих частинок у полі відцентрової сили. Цей метод здійснюється в циклонах.

Ступінь очищення повітря від пилу в циклонах досягає 85–90%. Для очищення газів фільтруванням найбільше поширені рукавні фільтри (рис. 2.2).

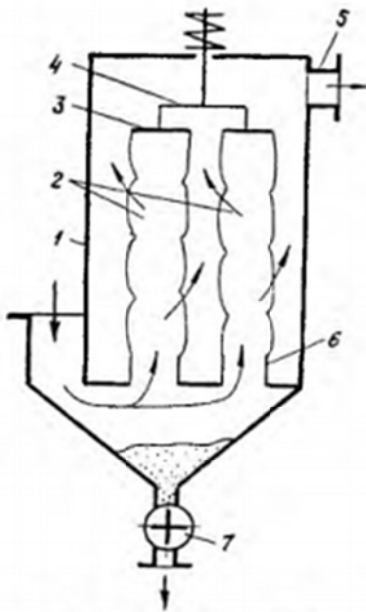


Рис. 2.2.
Рукавний фільтр

Рукавні фільтри для остаточного фільтрування повітря оснащені м'якими перегородками – різними тканинами. Забруднений газ вводять у корпус фільтра (1), де він розподіляється у фільтрувальних рукавах (2), нижні кінці яких закріплені в трубних ґратах (6), а верхні закриті кришками (3). Відфільтрований газ видаляють через вихлопну трубу (5), а завислі в ньому частинки осідають на внутрішній поверхні рукава.

Осілі частинки струшують спеціальним пристроєм (4) і видаляють через секторний затвор (7).

Рукавні фільтри дозволяють очищати високодисперсні аерозольні системи (пил), які мають розмір частинок дисперсної фази 10 мкм і менше. Ступінь очистки на них висока – досягає 98–99%.

Сутність роботи пристроїв для осадження під дією електростатичного поля (рис. 2.3) полягає в наступному. Фільтрувальна камера має два електроди (трубчасті чи пластинчасті). Як осаджувальний електрод використовується кругла металева труба – корпус (2), а коронуючим електродом слугує дріт (3), натягнутий по осі труби. Газ, який підлягає очищенню, входить в апарат через патрубок (5), проходить вгору через електричне поле і виходить через патрубок (4). Під дією електричного поля відбувається іонізація газу, і завислі частинки починають рухатися до одного або другого електрода залежно від їх заряду.

Пил осідає на внутрішні стінки труб, струшується спеціальним ударним пристроєм (на схемі його не показано), падає на конічне дно і через вивантажувальний патрубок (1) виводиться із апарата. У електроосадниках використовують постійний струм високої (40–75 кВ) напруги. Розроблені секційні електрофільтри, в яких газ проходить через ряд секцій, які послідовно з'єднані між собою. У цих апаратах досягається ступінь очистки до 99,5 %, і виділяють частинки розміром до 0,005 мкм.

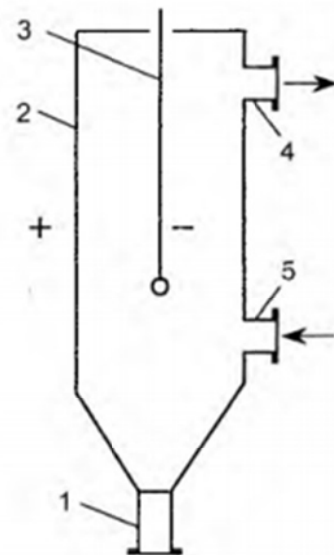


Рис. 2.3. Схема установки для електроочистки газів

Контрольні питання

1. Назвіть особливості очищення газових сумішей від твердої фази.
2. Поясніть устрій і принцип дії циклонів.
3. Схарактеризуйте принцип очищення газів у рукавних фільтрах.
4. В чому полягає сутність очищення газів в електричному полі?
5. Порівняйте ступінь очищення газів у різних установках.

ТЕМА 3

Способи нагрівання. Нагрівання електричним струмом

За допомогою електричного струму можна нагрівати в дуже широкому діапазоні температур, легко регулювати і точно підтримувати заданий температурний режим. Усі електричні нагрівачі прості за конструкцією, компактні й зручні в монтажі та обслуговуванні. Однак їх застосування стримується порівняно високою вартістю електроенергії.

Залежно від способу перетворення електричної енергії на теплову розрізняють нагрівання електричними опорами (омічне нагрівання), індукційне нагрівання, високочастотне нагрівання, інфрачервоне нагрівання.

Нагрівання електричним опором – найпоширеніший спосіб. Електричні нагрівачі за конструктивним оформленням бувають відкриті, закриті (з доступом повітря) і герметично закриті (без доступу повітря). Найбільш досконалі й поширені герметично закриті нагрівачі, які складаються з металевої (сталевий, латунної, мідної або алюмінієвої) трубки 4, всередині якої запресована в наповнювачі 2 спіраль 1 з ніхромового дроту (сплав, що містить 20 % хрому, 30–80 % нікелю і 0,5–50 % заліза). Тому їх називають трубчастими електронагрівачами, або ТЕНами (рис. 3.1).

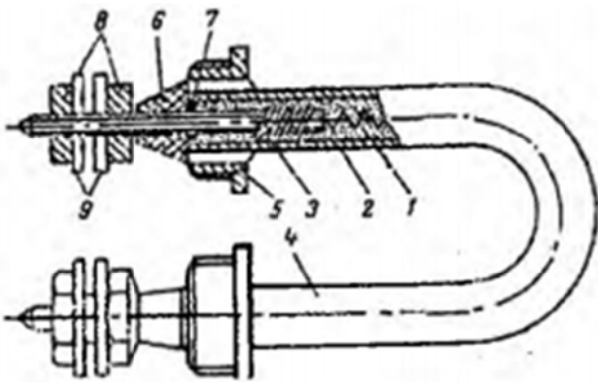


Рис. 3.1.

Трубчастий електронагрівач

У якості наповнювача між корпусом і спіраллю ТЕНу застосовують в основному кварцовий пісок; він слугує водночас електроізоляцією спіралі від металевої трубки і провідником теплоти.

За допомогою ТЕНів можна нагрівати воду, розчини лугів і кислот, повітря, харчові жири і мінеральні масла. Їх виготовляють різноманітної довжини, діаметра і конфігурації, а також різноманітної номінальної потужності

Кількість теплоти, яку необхідно підвести в процесі нагрівання електричним струмом, визначається з теплового балансу:

$$Q_c + G \cdot c \cdot t_n = G \cdot c \cdot t_k + Q_v, \quad (3.1)$$

де Q_c – теплота, що підводиться до апарату електронагрівачем, Дж;
 c – питома теплоємність;
 t – температура;
 G – масова витрата теплоносія.

Потрібна потужність електронагрівача (у Вт) становить:

$$P = \frac{Q_c}{\tau \cdot \eta} \quad (3.2)$$

де Q_c – теплота, що підводиться до апарату електронагрівачем, Дж;

τ – час нагрівання, с;

η – ККД електронагрівача.

Електроконтактний спосіб нагрівання полягає в перетворюванні електричної енергії на теплову при проходженні змінного електричного струму промислової частоти (220 В, 50 Гц) через продукт як через провідник, якому властивий опір. На початку процесу, після замикання електричного кола, величина струму швидко зростає. При цьому також швидко зростає і температура матеріалу. Цей період є фазою розігріву. Друга фаза – припинення зростання струму в колі і сталість температури. При цьому теплота, що виділяється, витрачається на інтенсивне випаровування вологи і зниження вологовмісту матеріалу, що тягне за собою збільшення електричного опору матеріалу і зменшення величини струму. Третя фаза процесу (фаза охолодження) характеризується зниженням вологовмісту матеріалу, а отже, його провідності, що призводить майже до повного припинення струму в колі. Втрата вологи при цьому триває за рахунок теплоти, яка акумулювалася матеріалом. Готовність продукту настає при падінні струму, що протікає через нього, до 0,05–0,1 А. Коефіцієнт корисного використання електричної енергії при електроконтактному обробленні досягає 97–98 %.

До процесів електроконтактного оброблення продуктів належить і електроплазмоліз, за якого відбувається пошкодження протоплазмових оболонки клітин рослинної сировини, що дає збільшення виходу соку на 8–10 % порівняно із звичайними методами.

Індукційне нагрівання ґрунтується на використанні теплового ефекту, що спричинюється струмами Фуко, які виникають безпосередньо в стінках сталевих апаратів, що нагріваються. Апарат з індукційним нагрівом подібний до трансформатора, первинною обмоткою якого є індукційні котушки, а магнітопроводом і вторинною котушкою – стінки апарата. Цей вид нагрівання застосовується у водонагрівачах, але в апаратах харчових виробництв поки не знайшов належного розповсюдження.

Контрольні питання

1. Назвіть переваги і недоліки нагрівання середовищ електричним струмом.
2. Поясніть устрій і принцип дії типового ТЕНу.
3. Наведіть формулу для розрахунку потужності ТЕНу.
4. Опишіть сутність електроконтактного нагрівання.
5. В чому полягає сутність індукційного нагрівання?

ТЕМА 4

Спіральні, пластинчасті теплообмінники

У спіральному теплообміннику поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами (1 і 2), згорнутими у вигляді спіралі (рис. 4.1).

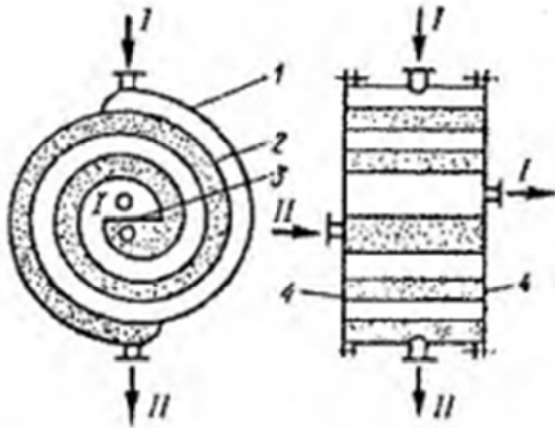


Рис. 4.1.

Спіральний теплообмінник

Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки (3), а їхні зовнішні кінці зварені один з одним. Торці спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками (4). Біля зовнішніх кінців спіралей та в центрі кришки приварені патрубки для введення і виведення теплоносіїв. Спіральний теплообмінник має високий коефіцієнт теплопередачі, незначний гідравлічний опір і відзначається компактністю. Однак він складний у виготовленні і непридатний для роботи під тиском понад 1 МПа.

Пластинчасті теплообмінники широко застосовуються для охолодження і підігрівання різноманітних рідин з робочими температурами до 300°C при тиску до 1,6 МПа (рис. 4.2). Теплообмінник с

кладається з пакету гофрованих металевих пластин. Між пластинами утворюються герметичні канали (7), у яких здійснюється протилежна течія

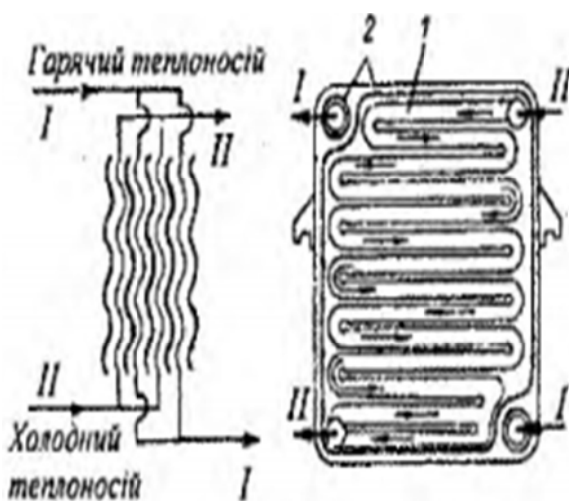


Рис. 4.2.

Пластинчастий теплообмінник

гарячого і холодного теплоносіїв. Пластини гофровані для того, щоб збільшити поверхню теплообміну і створити турбулентну течію рідини у вузьких каналах, відстань між якими дорівнює 3–10 мм. Пластини відокремлюються одна від одної прокладками (2) і мають два отвори по кутах для входу і виходу одного теплоносія, що циркулює в герметичному каналі. Через два інші кутові отвори в пластині втікає і витікає інший теплоносій. Пластини стягнуті затискачами.

Внаслідок високих швидкостей руху рідини між пластинами досягається високе значення коефіцієнта теплопередачі з малим гідравлічним опором.

Паралельне розташування плоских пластин з малими проміжками між ними дає змогу розмістити в просторі робочу поверхню теплообмінника найбільш компактним чином, завдяки чому значно зменшуються габарити пластинчастого апарата порівняно з іншими типами рідинних теплообмінників. Наприклад, коефіцієнт компактності пластинчастих апаратів (відношення робочої поверхні до об'єму робочої зони) досягає $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$, що у 5–10 разів більше, ніж для трубчастих.

Пластинчастий теплообмінник надає великі можливості по здійсненню різноманітних компоуючих варіантів і легко припускає збільшення (або зменшення) робочої поверхні апарата, який знаходиться в експлуатації. Він припускає вільне внесення різноманітних коригувань у схемі руху потоків і дає змогу зосереджувати на одній станині теплообмінні секції різноманітного призначення для виконання в одному апараті усього комплексу операцій теплового оброблення продуктів, що є надзвичайно важливим фактором.

Контрольні питання

1. Поясніть устрій і принцип роботи спірального теплообмінника.
2. Назвіть переваги та недоліки спіральних теплообмінників.
3. Поясніть устрій і принцип роботи пластинчастого теплообмінника.
4. Назвіть переваги та недоліки пластинчастих теплообмінників.
5. Схарактеризуйте особливості виготовлення різних типів теплообмінників.

ТЕМА 5

Адсорбенти

Активне вугілля одержують внаслідок сухої перегонки відповідної органічної сировини (кам'яного вугілля, деревини, тирси, кісточок з фруктів, відходів шкіряного, паперового, м'ясного виробництв) з наступним вилученням смолистих речовин з пор цієї сировини. Питома поверхня активного вугілля $600\text{--}1700\text{ м}^2/\text{г}$, насипна густина – $380\text{--}600\text{ кг}/\text{м}^3$; використовують їх у вигляді гранул розміром $1\text{--}7\text{ мм}$ або порошків з розміром частинок менше ніж $0,15\text{ мм}$. Активне вугілля використовується для очищення, освітлення і знебарвлювання рідких продуктів, а також вилучення з них запаху, присмаку, колоїдних та інших домішок. Активне вугілля застосовують також для очищення промислових газових викидів. Особливо відзначимо розроблений останніми роками адсорбент з високою поглинаючою спроможністю, що одержується з абрикосових та інших фруктових кісточок і використовується для очищення організму від отруйних і шкідливих речовин під час лікування гострих отруєнь, хвороб печінки і нирок.

Силікагелі – це продукти зневоднення гелю кремнієвої кислоти. Питома поверхня силікагелів – від 300 до $750\text{ м}^2/\text{г}$, насипна густина – $100\text{--}800\text{ кг}/\text{м}^3$, розмір гранул $0,2\text{--}7\text{ мм}$. Силікагелі використовують для осушення повітря в системі фреонової холодильної установки, освітлення пива і фруктових соків; вони здатні утримувати до 50% вологи від своєї маси.

Цеоліти – водні алюмосилікати природного або синтетичного походження з винятково тонкими порами. Їхня поглинальна здатність у $2\text{--}4$ рази вища, ніж силікагелей. Цеоліти застосовують для глибокого осушення газів (наприклад, у компресійних фреонових холодильних установках), для концентрування соків.

Глини та інші природні глинисті адсорбенти (бентоніти, діатоміти, трепели, інфузорна земля) займають особливо значне місце серед промислових адсорбентів завдяки значному їхньому поширенню в природі та низькій вартості. Глини мають значно меншу питому поверхню, ніж інші промислові адсорбенти ($35\text{--}150\text{ м}^2/\text{г}$), насипна густина їх $400\text{--}450\text{ кг}/\text{м}^3$. Глини особливо широко розповсюджені як адсорбент, що поглинає забарвлені речовини з олій і жирів (адсорбційне вибілювання), при освітленні вин (у виноробстві цей процес називається обклейкою) та фільтруванні пива.

Одним з видів адсорбентів є природні або синтетичні іоніти. Вони здатні обмінювати іони на еквівалентну кількість іонів того самого знаку з розчину, з яким вони взаємодіють. Таким чином, з розчину витягуються і утримуються адсорбентом іони, які підлягають вилученню з розчину. Синтетичні іоніти, які застосовуються в харчовій промисловості, відно-

сяться до смол. За допомогою іонної адсорбції може здійснюватися ряд процесів: одержання винної кислоти з коньячної барди, зм'якшення і знесолювання води, демінералізація і очищення соків, сиропів, бульйонів. Іонітові адсорбенти легко піддаються регенерації.

Як адсорбенти застосовуються також дріжджі, казеїн, желатин, риб'ячий клей та інші продукти. Адсорбентами є більшість твердих харчових продуктів. Тут слід відзначити цю їхню спроможність як позитивне явище, так і негативне. Йдеться передусім про поглинання твердими харчовими продуктами (в більшості своїй капілярно-пористими тілами) вологи з довкілля. Під час взаємодії з навколишнім вологим повітрям харчовий продукт у процесі зберігання поглинає вологу до встановлення рівноваги між вмістом водяної пари в повітрі та вологи в продукті. Зволоження продуктів у даному випадку створює сприятливі умови для їхнього псування – прискорюються хімічні та біохімічні реакції, відбувається підвищення температури продукту, що сприяє інтенсивному розвитку мікроорганізмів. До негативної адсорбційної властивості харчових продуктів відноситься також поглинання з навколишнього середовища різноманітного виду пари, газів, у тому числі й запашних. Тому з метою запобігання псування продуктів необхідно, щоб вони зберігалися в приміщеннях, які добре вентилуються, вільних від наявності будь-яких запахів і небажаних газових компонентів.

Контрольні питання

1. Схарактеризуйте адсорбційні властивості активованого вугілля.
2. Назвіть сфери застосування активованого вугілля.
3. Опишіть властивості глини та іонітів.
4. Перелічіть продукти, що володіють адсорбційними властивостями.
5. Як адсорбційна властивість харчових продуктів впливає на їхню якість?

ТЕМА 6

Перспективні способи сушіння вологих матеріалів

Висушені продукти тваринного та рослинного походження під час сушіння дають значну усадку, зменшуючись в об'ємі у 3–4 рази, а в процесі подальшої гідратації повільно відновлюються, поглинаючи воду. З метою усунення цих недоліків останніми роками розроблено ряд нових методів одержання швидко-відновлювальних сушених продуктів. До них відноситься одержання пористих продуктів шляхом:

- інтенсивного підведення теплоти до центра продукту (в ІЧ-променях, ВЧ і НВЧ-полях);
- створення перепаду тиску пари, що викликає руйнування структури продукту і збільшення його пористості («вибухове» сушіння і сушіння перегрітою парою);
- конвективного сушіння з попереднім заморожуванням;
- сублімаційного сушіння;
- сушіння у вспіненому стані.

Використання інфрачервоних променів для сушіння матеріалів дозволяє значно інтенсифікувати процеси внаслідок збільшення густини теплового потоку на поверхні матеріалу і проникнення цих променів на деяку глибину (0,1–2 мм).

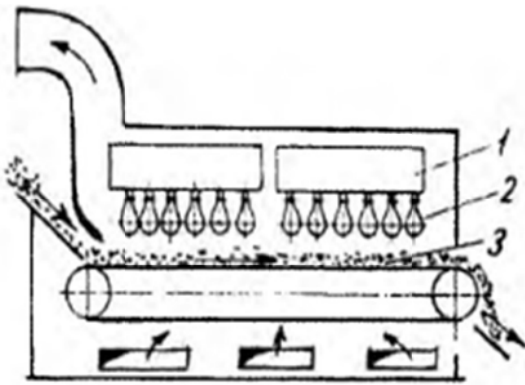


Рис. 6.1.

Стрічкова радіаційна сушарка

Як генератори ІЧ-випромінювання для промислових сушильних установок застосовуються спеціальні електричні лампи із дзеркальними відбивачами або керамічні екрани чи панелі, що обігріваються газом. На рис. 6.1 зображено схему стрічкової **термо-радіаційної сушарки**. Джерелом ІЧ-енергії в ній є лампи (2), оснащені рефлекторами (7),

що спрямовують промені на транспортер, який переміщує висушуваний продукт (3).

Під час інфрачервоного опромінення густина теплового потоку на поверхні матеріалу в 20–100 разів більша, ніж під час конвективного сушіння, тому, обираючи режим опромінення, враховують технологічні особливості матеріалів. Під час ІЧ-опромінення швидке нагрівання поверхні висушуваних частинок продукту створює температурний градієнт, що сприяє переміщенню вологи до центра частинок, тобто явище термоволо-

гопровідності стає гальмом сушіння. Крім того, швидке сушіння поверхні частинок призводить до утворення на них скоринки, що перешкоджає випаровуванню вологи в доквілля. Під час відключення генератора ІЧ-променів відбувається вирівнювання температур по перетину частинок, температурний градієнт змінює свій знак і волога спрямовується від центра до поверхні. Відбувається інтенсифікація процесу сушіння, а утворення скоринки виключається.

Сублімаційне сушіння – це сушіння матеріалів у замороженому стані, під час якого волога, що знаходиться в стані льоду, переходить у пару, обминаючи рідкий стан, тобто відбувається сублімація. Таке сушіння проводиться під глибшим вакуумом. Остаточний тиск у сублімаційних сушарках становить 13,33–133,3 Па (0,1–1,0 мм рт. ст.). Процес іде за відповідно низьких температур (близько -50°C).

Сушіння сублімацією проводять в установках (рис. 6.2), що складаються із сушильної камери-субліматора 7, конденсатора-заморожувача (4) і системи високовакуумних насосів. Вологий продукт попередньо заморожують за температури близько $-15-18^{\circ}\text{C}$. Для більшої частини біотехнологічних продуктів охолодження нижче ніж -18°C може призвести до необоротних змін білкових речовин. Заморожений продукт у деках 3 кладуть на порожнисті плити 2 (всередині їх може циркулювати гаряча вода) субліматора 1, де у високому вакуумі відбувається випаровування льоду і додаткове охолодження продукту. Коли значну частину вологи у вигляді пари усунуто з продукту, включають нагрівання гарячою водою і матеріал досушують за температури близько 30°C . Водяна пара із субліматора надходить у труби кожухотрубного конденсатора-виморожувача 4, у міжтрубному просторі якого циркулює низькотемпературний холодоносій (аміак, розсіл) з холодильної установки. У трубах конденсатора відбувається конденсація і заморожування водяної пари. Звичайно встановлюються два конденсатори, що працюють поперемінно: у той час як в одному конденсаторі відбувається конденсація і заморожування, другий розморожується для вилучення льоду.

Продукти, висушені сублімацією, зберігають структуру, колір, смак, запах, поживні властивості, біологічну цінність (білки, вітаміни) і можуть зберігатися тривалий час. Але цей спосіб дорогий і складний в апаратному відношенні.

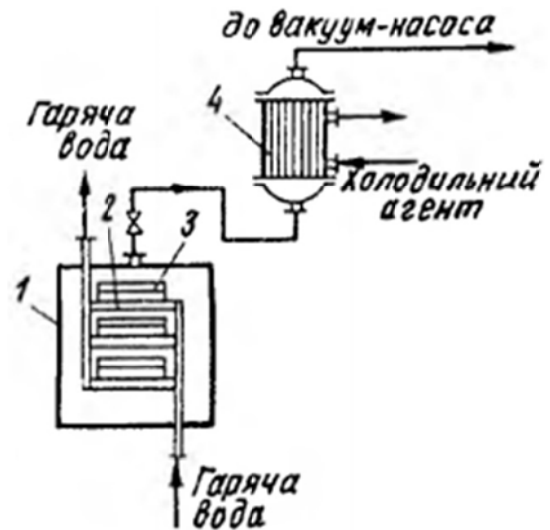


Рис. 6.2.
Сублімаційна сушарка

Суттєвість «вибухового» сушіння полягає в тому, що підготовлену сировину спочатку підсушують до вологості 25–45 %, а після цього завантажують у спеціальний апарат – «гармату», де піддають його «вибуху». Апарат – це циліндр, що обертається навколо горизонтальної осі. Для його нагрівання є розташовані під ним газові пальники. З одного боку циліндр має глуху кришку, а з другого – герметичну кришку, що закривається із замикаючим пристроєм. У апарат завантажують продукт, закривають кришку, встановлюють циліндр у горизонтальне положення, включають нагрів та привід. Після досягнення тиску в циліндрі близько 1,0–2,5 МПа скидають тиск. Це призводить до миттєвого перетворення частини вологи, що міститься в продукті, на пару, в результаті чого продукт набуває пористої структури (об'єм збільшується у 15–20 разів).

Суть способу сушіння продуктів у спіненому стані з одержанням швидко відновлювальних порошків полягає в тому, що пюреподібний або концентрований рідкий продукт збивають у стійку піну з використанням піностабілізуючих речовин і висушують до вмісту вологи 2–4 %. Спінювання надає продукту більш жорстку структуру і збільшує його поверхню для прискорення дифузії вологи. З точки зору теплопередачі цей спосіб не ефективний, оскільки піні притаманна низька теплопровідність. Проте піносушіння – це порівняно швидкий спосіб сушіння, що не потребує високої температури. Для стабілізації піни використовують емульгатори (сухе молоко, агар, желатин, крохмаль, метилцелюлозу та ін.), для покращення спінювання через збиту масу в деяких випадках продувають повітря. Сушіння піни найчастіше здійснюють конвективним способом на стрічкових сушарках. Висушений продукт подрібнюють, просівають та пакують у герметичну тару. Піносушінню піддають соки та пюре малини, полуниці, яблук, пюре з томатів, картопляне пюре та ін. продукти.

Контрольні питання

1. Поясніть сутність ІЧ-сушіння.
2. В чому полягає сутність сублімаційного висушування матеріалів?
3. Наведіть схему сублімаційної сушильної установки.
4. Поясніть принцип «вибухового» сушіння.
5. В чому полягає сутність сушіння матеріалів у спіненому стані?

Список використаної літератури

1. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості / Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков. – Львів : Інтелект-Захід, 2008. – 736 с.
2. Стасевич М. В. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібник для студ. вищ. навч. заклад. / М. В. Стасевич, А. О. Милянч, І. О. Гузьова [та ін.] ; за ред. В. П. Новікова. – Вінниця : Нова Книга, 2012. – 408 с.
3. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Ч.ІІІ. Основи проектування мікробіологічних виробництв : навч. посібник / Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 252 с.
4. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості : підручник / М. В. Стасевич, А. О. Милянч, Л. С. Стрельников та ін. – Львів : Новий Світ-2000, 2017. – 410 с.
5. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Ч. 1. – 300 с.
6. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Ч. 2. – 416 с.

Навчальне видання

Іванов Євген Геннадійович

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні рекомендації
щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*
Макет обкладинки *І. М. Дончик*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,76. Наклад 50 пр. Зам. № 263/24.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

Навчальне видання

Іванов Євген Геннадійович

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні рекомендації
щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,76. Наклад 50 пр. Зам. № 263/24.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні рекомендації
щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Харків – 2024

Рецензенти:

С. О. Губський – к. т. н., доц., доц. кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

О. В. Наглов – доцент ЗВО кафедри біохімії біологічного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 11 від 27 вересня 2024 року)*

Процеси і апарати біотехнологічних виробництв: методичні рекомендації щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / уклад. Є. Г. Іванов. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с.

Методичні рекомендації для студентів біологічного факультету спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» містять рекомендації щодо вивчення дисципліни. Рекомендації складено відповідно до програми дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв», яка викладається студентам 2 курсу спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» біологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

УДК 602.4-7(072)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024

© Іванов Є. Г., уклад., 2024

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2024

ЗМІСТ

1. Мета, завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі.....	4
2. Загальні відомості про склад самостійної роботи.....	6
3. Проробка лекційного матеріалу	7
4. Підготовка до практичних занять і лабораторних робіт.....	7
5. Проробка окремих розділів навчальної програми, які не викладалися на лекціях.....	9
Тема 1 Теорія подібності процесів та апаратів	10
Тема 2 Розділення газів	15
Тема 3 Способи нагрівання. Нагрівання електричним струмом	18
Тема 4 Спиральні, пластинчасті теплообмінники.....	20
Тема 5 Адсорбенти.....	22
Тема 6 Перспективні способи сушіння вологих матеріалів.....	24
Список використаної літератури	27

1. Мета, завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі

Навчальна дисципліна «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» входить до циклу професійної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» за освітньо-професійною програмою «Біотехнології та біоінженерія».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є сучасне технологічне та допоміжне обладнання, яке використовується для проведення типових процесів на стадіях біотехнологічного виробництва.

Мета дисципліни – засвоєння здобувачами вищої освіти сучасних знань про устрій, принципи роботи технологічного обладнання, що використовується для здійснення типових процесів біотехнологічних виробництв, фізико-хімічні основи та закономірності протікання цих процесів (абсорбція, ректифікація, сушіння тощо).

Завдання дисципліни – формування теоретичних знань та практичних навичок у майбутніх фахівців відповідно до поставленої мети, надання здобувачам базових знань про закономірності перебігу технологічних процесів та їх апаратного оснащення.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти повинні засвоїти наступні **компетентності**:

K01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

K05. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

K17. Здатність використовувати методології проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

K19. Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

K20. Здатність складати апаратні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

Програмні результати навчання:

ПР02. Вміти здійснювати якісний та кількісний аналіз речовин неорганічного, органічного та біологічного походження, використовуючи відповідні методи.

ПР05. Вміти аналізувати нормативні документи (державні та галузеві стандарти, технічні умови, настанови тощо), складати окремі розділи технологічної та аналітичної документації на біотехнологічні продукти різного призначення; аналізувати технологічні ситуації, обирати раціональні технологічні рішення.

ПР15. Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло-та масообмінних процесах та основні конструкторські особливості, вміти обирати відповідне устаткування в процесі проектування

виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності.

ПР17. Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва.

ПР18. Вміти здійснювати обґрунтування та вибір відповідного технологічного обладнання і графічно зображувати технологічний процес відповідно до вимог нормативних документів з використанням знань, одержаних під час практичної підготовки.

2. Загальні відомості про склад самостійної роботи

Самостійна робота здійснюється методом індивідуального вивчення кожним здобувачем певних розділів навчальної програми з використанням рекомендованої літератури та консультацій ведучого викладача. Самостійна робота виконується за такими розділами:

№ з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин	
		очна форма навчання	заочна форма навчання
1	Проробка лекційного матеріалу	10	5
2	Підготовка до лабораторних робіт	6	1
3	Підготовка до практичних занять	14	2
4	Проробка питань програми, які не викладались на лекціях:	18	38
4.1	Теорія подібності процесів і апаратів		
4.2	Розділення газів		
4.3	Промислові способи нагрівання		
4.4	Спиральні, пластинчасті теплообмінники		
4.5	Адсорбенти		
4.6	Перспективні способи сушіння вологих матеріалів		
4.7	Сучасний стан енергетичних ресурсів світу		
4.8	Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії		
4.9	Цикли паросилових установок		
4.10	Ексергія		
5	Контрольна робота		30
6	Курсовий проєкт	4	20
7	Підготовка до заліку, екзаменів	4	4
Разом		56	100

3. Проробка лекційного матеріалу

Протягом навчального семестру кожен здобувач повинен систематично самостійно проробляти теоретичний матеріал, який викладається на лекційних заняттях. Контроль засвоєння лекційного матеріалу здійснюється шляхом усного опитування упродовж змістових модулів.

При засвоєнні лекційного матеріалу здобувачі користуються навчальною літературою та навчально-методичними матеріалами, перелік яких рекомендується викладачем.

4. Підготовка до практичних занять і лабораторних робіт

У процесі вивчення дисципліни для закріплення та поглиблення теоретичних знань, отриманих на лекціях, студенти повинні виконати завдання, які виносяться на практичні заняття, і лабораторні роботи згідно з методичними вказівками.

Перелік практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи раціональної побудови апаратів	1
2	Конструкційні матеріали	1
3	Компресори, вентилятори	1
4	Багатоступеневе стиснення в компресорах	1
5	Псевдозрідження	1
6	Фільтрування	1
7	Центрифугування	1
8	Розрахунок теплообмінників	1
9	Матеріальний і тепловий баланс процесу випарювання	1
10	Матеріальний баланс процесу абсорбції	1
11	Визначення параметрів сушильного агенту	1
12	Основні параметри стану і закони ідеальних газів	1
13	Перший закон термодинаміки	1
14	Термодинамічні процеси	1
15	Параметри стану водяної пари	1
16	Витікання і дроселювання газів і пари	1

Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення гідравлічних опорів трубопроводів	4
2	Вивчення гідродинаміки «киплячого» шару	4
3	Визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів	4
4	Теплопередача в теплообміннику періодичної дії	4
5	Визначення коефіцієнта тепловіддачі	4
6	Випробовування конвективної сушарки	4
7	Випробовування ректифікаційної колони періодичної дії	4
8	Визначення холодильного коефіцієнта компресійної холодильної машини	4
Разом		32

5. Проробка окремих розділів навчальної програми, які не викладалися на лекціях

У процесі самостійної роботи кожен здобувач повинен самостійно вивчити наступні теми:

1.	Тема 1	Теорія подібності процесів і апаратів
2.	Тема 2	Розділення газів
3.	Тема 3	Промислові способи нагрівання
4.	Тема 4	Спіральні, пластинчасті теплообмінники
5.	Тема 5	Адсорбенти
6.	Тема 6	Перспективні способи сушіння вологих матеріалів

ТЕМА 1

Теорія подібності процесів та апаратів

Поняття подібності явищ

Вивчення процесів з метою одержання рівнянь, необхідних для їх аналізу та розрахунків, можна проводити чисто теоретично. Цей найбільш досконалий шлях дослідження зводиться до складання та розрахунку математичних залежностей, частіше всього диференціальних рівнянь, які повністю описують процес. Прикладом важливих для практики розрахункових залежностей, одержаних рішенням відповідних диференціальних рівнянь, є основне рівняння гідростатики та рівняння Бернуллі.

Диференціальні рівняння описують цілий клас однорідних по своїй суті явищ, і для виділення із нього конкретного явища необхідно звужити вказані рівняння додатковими умовами (умовами однозначності).

Умови однозначності містять: геометричну форму та розміри системи, суттєві для даного процесу фізичні константи речовин, які беруть в ньому участь, початкові умови, граничні умови і т.д.

Теорія подібності є вченням про методи наукового узагальнення експерименту. Вона вказує, як треба ставити досліди і як обробляти їх результати, щоб при проведенні невеликої кількості дослідів мати змогу узагальнити дослідні дані та одержати єдине рівняння для всіх подібних явищ. Це дозволяє замість промислового устаткування виконувати досліди на моделях значно меншого розміру.

Методи теорії подібностей лежать в основі масштабування та моделювання процесів.

Моделюванням називається метод вивчення реального або створюваного об'єкта (оригіналу), при якому замість нього використовується модель, а результати поширюються на оригінал. Суть моделювання полягає в прогнозуванні поведінки оригіналу в робочих умовах виробництва за вимірними параметрами моделі. Методи моделювання засновані на подібності різних об'єктів. Подібними називають процеси, математичні описи яких представлені в узагальнених змінних, що охоплюють групи подібних об'єктів або явищ.

В курсі ПАБВ розглядається і використовується фізична подібність стосовно переносу різних субстанцій для дуже широкого кола задач – від загальнотеоретичних описів до прикладних розрахункових формул.

Симплекси і критерії подібності

Два фізичні явища подібні, якщо в подібних точках геометрично подібних систем однойменні характеристики розрізняються тільки за

постійними коефіцієнтами (множниками подібності). Математичні описання подібних систем ідентичні.

В якості прикладу розглянемо процес течії рідини у виробничому трубопроводі (оригіналі) та його зменшеній моделі (рис. 1.1).

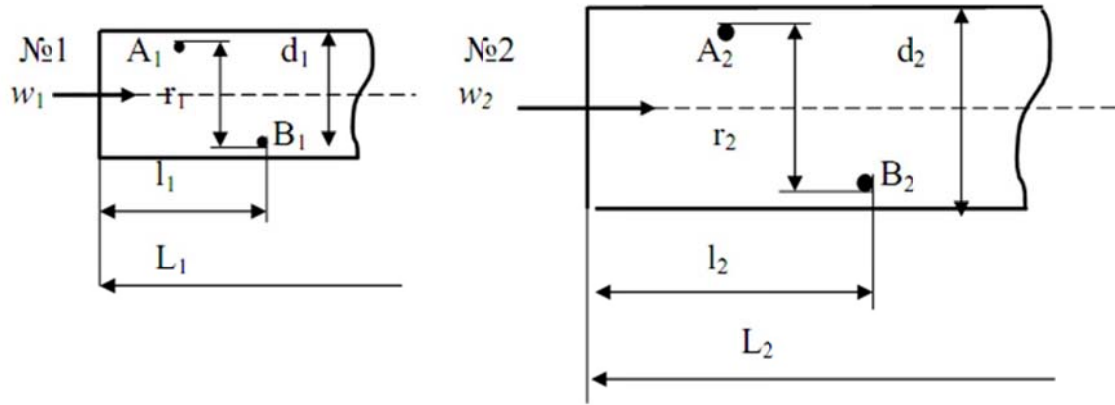


Рис. 1.1. Подібні течії: модель (№ 1) та оригінал (№ 2)

Нехай є два геометрично подібні канали малого і великого розмірів. Виберемо в малому (1) і великому (2) каналах дві пари подібних точок A_1 і A_2 , B_1 і B_2 , причому для кожної пари характерна своя геометрична подібність типу $r_1/l_1 = r_2/l_2$. Відношення $r_1/r_2 = l_1/l_2 = m_r$ являє собою множник геометричної подібності, постійний для будь-якої пари подібних точок в розглянутих каналах. За визначенням фізичної подібності як для пари точок A_1 і A_2 , так і для B_1 і B_2 (взагалі для будь-якої пари подібних точок в моделі та оригіналі) характерні співвідношення:

$$\frac{x_1}{x_2} = m_x; \frac{y_1}{y_2} = m_y; \frac{z_1}{z_2} = m_z \text{ і т.п.}, \quad (1.1)$$

причому m_x, m_y і т.д. – множники подібності, що відрізняються для різних характеристик, але однакові в межах однієї з них для кожної пари подібних точок. У цьому сенсі кожен множник подібності виступає в якості масштабної характеристики відповідної фізичної величини.

Подібність потоків в оригіналі і моделі можна схарактеризувати також за допомогою інваріантів подібності, тобто у вигляді відношень подібних величин у межах кожної системи. Так,

$$\frac{l_1}{L_1} = \frac{l_2}{L_2} = idem = i_l, \quad (1.2)$$

де *idem* означає інваріантно або «одне і те ж».

Величина i_l являє собою інваріант подібності геометричних величин.

Інваріанти подібності, виражені відношенням двох однорідних фізичних величин з однаковими розмірностями, називаються симплексами.

Однак інваріанти подібності можуть бути виражені також відношеннями різнорідних величин, тобто являти собою їх безрозмірні комплекси. Наприклад, для подібних точок в оригіналі та його моделі рівні інваріанти подібності, що складаються з різних фізичних величин:

$$\frac{w_1 \cdot d_1 \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{w_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2} = idem = Re \text{ (критерій Рейнольдса)}. \quad (1.3)$$

Безрозмірні комплекси, складені за таким типом, називаються критеріями подібності. Останні завжди мають фізичний зміст, будучи мірою співвідношення між якимись двома ефектами (силами і т.п.), важливими для розглянутого процесу. Критерії подібності мають всі властивості інваріантів: вони безрозмірні, можуть змінювати свою величину від точки до точки даної системи і т.д.

Критерії подібності можуть бути отримані для будь-якого процесу, якщо звести аналітичні залежності між характеризуючими його величинами диференціальні рівняння, що описують процес.

Технологічні процеси подібні при умовах спільного дотримання геометричної та часової подібності, подібності поля фізичних величин, а також подібностей початкових та граничних умов.

Часова подібність характеризується тим, що подібні частки, рухаючись по геометрично подібних траєкторіях, проходять геометрично подібний шлях за певний час, відношення яких є постійною величиною

$$\frac{T}{T_1} = \frac{\tau}{\tau_1} = \frac{\tau_2}{\tau_3} = const = k_\tau, \quad (1.4)$$

де $\frac{T}{T_1}$ – час проходження подібними частками всього трубопроводу;

t, t_1, t_2, t_3 – час проходження подібними точками подібних шляхів l, l_1, l_2 і т.п.;

k_τ – константа часової подібності.

При виконанні геометричної та часової подібності буде виконуватись і швидкісна подібність:

$$\frac{w}{w_1} = \frac{w_2}{w_3} = const, \quad (1.5)$$

де w – характеристична швидкість.

Константи подібності k_w, k_t і т.д., які виражають відношення різних одноіменних величин в оригіналі і моделі, постійні для різних подібних точок подібних систем, але змінюються в залежності від співвідношення розмірів натури та моделі.

Теореми подібності

I теорема подібності (Ньютон): при подібності систем завжди можуть бути знайдені такі безрозмірні комплекси величин, які для схожих точок даних систем однакові, або подібні ті явища характеризуються чисельно рівними критеріями подібності. Це можна показати на прикладі руху тіл – другого закону Ньютона.

$$F = ma = m \frac{d\omega}{d\tau} \quad (1.6)$$

$$F' = m' \frac{d\omega'}{d\tau'} \quad (1.7)$$

$$F'' = m'' \frac{d\omega''}{d\tau''} \quad (1.8)$$

де w – швидкість.

При подібному русі часток після схожих точок природи та моделі константи подібності можна виразити відношеннями:

$$\frac{m'}{m''} = \kappa_m; \frac{\omega'}{\omega''} = \kappa_\omega; \frac{\tau'}{\tau''} = \kappa_\tau \quad (1.9)$$

Як наслідок

$$\frac{F'}{F''} = \kappa_F \quad (1.10)$$

$$\frac{F'}{F''} = \frac{m' \frac{d\omega'}{d\tau'}}{m'' \frac{d\omega''}{d\tau''}} = \frac{m' d\omega' d\tau''}{m'' d\omega'' d\tau'} \quad (1.11)$$

$$\text{або } \kappa_F = \frac{\kappa_m \kappa_\omega}{\kappa_\tau} \quad (1.12)$$

$$C = \frac{\kappa_F \kappa_\omega}{\kappa_m \kappa_\tau} = 1. \quad (1.13)$$

де k – коефіцієнт.

Величину C , складену із констант подібності, називають індикатором подібності. Заміняючи константи подібності відношеннями згідних величин та розподіливши всі величини для оригіналу в ліву частину, а для моделі – в праву, знаходимо:

$$\frac{F' \tau'}{m' \omega'} = \frac{F'' \tau''}{m'' \omega''} \quad (1.14)$$

Таким чином, одержано безрозмірний комплекс величин, значення якого однакові для схожих точок обох систем. Цей комплекс називають критерієм Ньютона:

$$\frac{F\tau}{m\omega} = N_I \quad (1.15)$$

або враховуючи, що $\tau = \frac{l}{\omega}$, то $\frac{F \cdot l}{m\omega^2} = N_{II}$ (1.16)

На основі виразу 1.13 перша теорема подібності може бути сформульована також наступним чином: у подібних явищ індикатори подібності рівні одиниці.

Друга теорема подібності (Бекенгем): розв'язання будь-якого диференціального рівняння, яке зв'язує між собою змінні, які впливають на процес, може бути представлено у вигляді залежності між безрозмірними комплексами цих величин, отже, між критеріями подібності.

Теорема відповідає на питання, як обробляти результати дослідів, проведених на моделях: їх треба представляти у вигляді функціональної залежності між критеріями подібності.

Третя теорема подібності (Кирпичьов, Гухман) формулює необхідні та достатні умови подібності явищ: подібні ті явища, які описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь та у яких додержується подібність умов однозначності. Ця теорема може бути сформульована і так: явища подібні, якщо їх визначальні критерії чисельно рівні.

Контрольні питання

1. Розкрийте значення диференціальних рівнянь в описі технологічних процесів.
2. Поясніть сутність теорії подібності.
3. Наведіть приклади подібних явищ та процесів.
4. Сформулюйте теореми подібності.
5. Наведіть приклади критеріальних рівнянь.

ТЕМА 2

Розділення газів

Найпростішим пристроєм для відцентрового розділення газових і рідких неоднорідних систем є відповідно циклони і гідроциклони. Вони відзначаються простою будовою, компактністю, не мають рухомих частин. До недоліків циклонів відносяться невисока ступінь розділення, порівняно високий гідравлічний опір.

Циклон для очищення газу (рис. 2.1) складається з вертикального циліндричного корпусу (5) з конічною частиною (2). Запилений газ надходить тангенціально з великою швидкістю (10–40 м/с) через патрубок (4) у верхню частину корпусу циклона. У корпусі цей потік запиленого газу рухається вниз по спіралі вздовж внутрішньої поверхні стінки циклона. При цьому важкі частинки пилу під дією відцентрової сили відкидаються на периферію, осідають на внутрішній поверхні корпусу, а потім сповзають у конічну частину (2) і видаляються через патрубок (1). Звільнений від завислих частинок потік газу виводиться з циклона через вивідну трубу (5).

Процеси подрібнювання сировини, сортування, сушіння та транспортування сипких матеріалів здебільшого супроводжуються пилоутворенням. Пил являє собою суміш газу чи повітря і твердих частинок розміром 3–100 мкм. Необхідність виділення твердих частинок із пилу продиктована двома обставинами:

- 1) необхідністю уловлювати з газів цінні продукти і повернення їх у виробництво;
- 2) необхідністю зменшення забруднення навколишнього середовища і забезпечення безпеки виробництва.

Частинки пилу мають електричний заряд, якого вони набувають шляхом адсорбції іонів із повітря або внаслідок тертя о тверду поверхню апарата (машини), робота якого супроводжується пилоутворенням. Великі та дрібні частинки заряджаються протилежними зарядами. При досягненні визначеної концентрації твердих частинок пилу в повітрі можливий вибух, при якому в замкненому просторі розвивається великий тиск.

Для очищення газових потоків від завислих частинок використовується декілька способів: осадження під дією сили тяжіння, інерційних та відцентрових сил, фільтрування через пористу перегородку, мокре очищення та осадження в електричному полі. Для досягнення необхідного

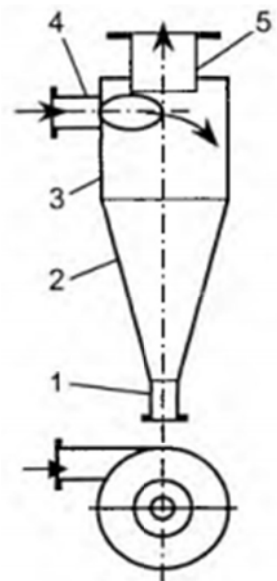


Рис. 2.1.
Схема циклона

ступеня очищення газового потоку використовують і комбінації цих способів.

Ефективність апаратів для поділу газових неоднорідних систем оцінюється ступенем очищення (η у %):

$$\eta = \frac{100 \cdot (x_1 - x_2)}{x_1}, \quad (2.1)$$

де x_1 і x_2 – концентрація завислих частинок відповідно в запиленому і очищеному газі.

Для розділення газових неоднорідних систем можна використовувати гравітаційні відстійники, однак ступінь очищення газу від пилу в них майже ніколи не перевищує 50%. Серед промислових методів розділення газових неоднорідних систем значне місце займає осадження твердих частинок у полі відцентрової сили. Цей метод здійснюється в циклонах.

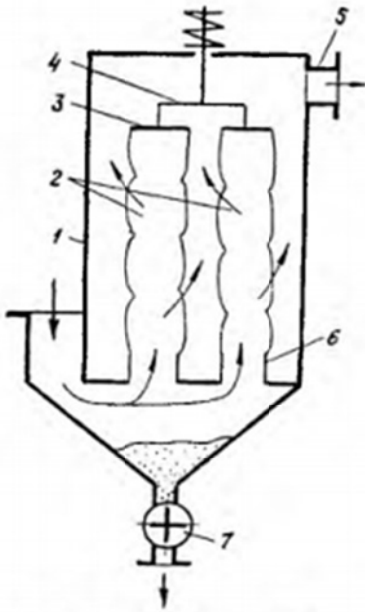


Рис. 2.2.
Рукавний фільтр

Ступінь очищення повітря від пилу в циклонах досягає 85–90%. Для очищення газів фільтруванням найбільше поширені рукавні фільтри (рис. 2.2).

Рукавні фільтри для остаточного фільтрування повітря оснащені м'якими перегородками – різними тканинами. Забруднений газ вводять у корпус фільтра (1), де він розподіляється у фільтрувальних рукавах (2), нижні кінці яких закріплені в трубних ґратах (6), а верхні закриті кришками (3). Відфільтрований газ видаляють через вихлопну трубу (5), а завислі в ньому частинки осідають на внутрішній поверхні рукава. Осілі частинки струшують спеціальним пристроєм (4) і видаляють через секторний затвор (7).

Рукавні фільтри дозволяють очищати високодисперсні аерозольні системи (пил), які мають розмір частинок дисперсної фази 10 мкм і менше. Ступінь очистки на них висока – досягає 98–99%.

Сутність роботи пристроїв для осадження під дією електростатичного поля (рис. 2.3) полягає в наступному. Фільтрувальна камера має два електроди (трубчасті чи пластинчасті). Як осаджувальний електрод використовується кругла металева труба – корпус (2), а коронуючим електродом слугує дріт (3), натягнутий по осі труби. Газ, який підлягає очищенню, входить в апарат через патрубок (5), проходить вгору через електричне поле і виходить через патрубок (4). Під дією електричного поля відбувається іонізація газу, і завислі частинки починають рухатися до одного або другого електрода залежно від їх заряду.

Пил осідає на внутрішні стінки труб, струшується спеціальним ударним пристроєм (на схемі його не показано), падає на конічне дно і через вивантажувальний патрубок (1) виводиться із апарата. У електроосадниках використовують постійний струм високої (40–75 кВ) напруги. Розроблені секційні електрофільтри, в яких газ проходить через ряд секцій, які послідовно з'єднані між собою. У цих апаратах досягається ступінь очистки до 99,5 %, і виділяють частинки розміром до 0,005 мкм.

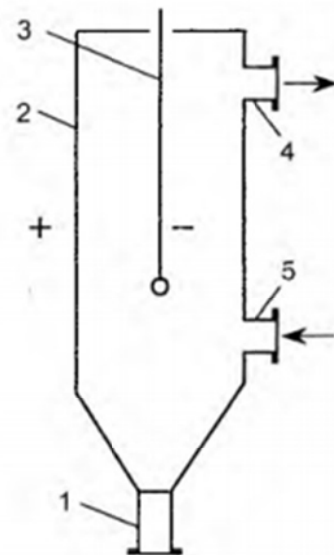


Рис. 2.3. Схема установки для електроочистки газів

Контрольні питання

1. Назвіть особливості очищення газових сумішей від твердої фази.
2. Поясніть устрій і принцип дії циклонів.
3. Схарактеризуйте принцип очищення газів у рукавних фільтрах.
4. В чому полягає сутність очищення газів в електричному полі?
5. Порівняйте ступінь очищення газів у різних установках.

ТЕМА 3

Способи нагрівання. Нагрівання електричним струмом

За допомогою електричного струму можна нагрівати в дуже широкому діапазоні температур, легко регулювати і точно підтримувати заданий температурний режим. Усі електричні нагрівачі прості за конструкцією, компактні й зручні в монтажі та обслуговуванні. Однак їх застосування стримується порівняно високою вартістю електроенергії.

Залежно від способу перетворення електричної енергії на теплову розрізняють нагрівання електричними опорами (омічне нагрівання), індукційне нагрівання, високочастотне нагрівання, інфрачервоне нагрівання.

Нагрівання електричним опором – найпоширеніший спосіб. Електричні нагрівачі за конструктивним оформленням бувають відкриті, закриті (з доступом повітря) і герметично закриті (без доступу повітря). Найбільш досконалі й поширені герметично закриті нагрівачі, які складаються з металевої (сталевий, латунної, мідної або алюмінієвої) трубки 4, всередині якої запресована в наповнювачі 2 спіраль 1 з ніхромового дроту (сплав, що містить 20 % хрому, 30–80 % нікелю і 0,5–50 % заліза). Тому їх називають трубчастими електронагрівачами, або ТЕНами (рис. 3.1).

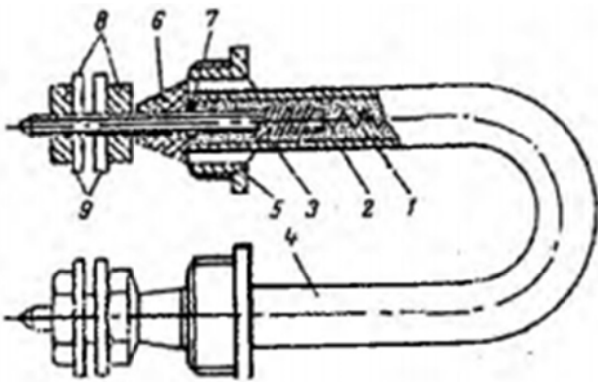


Рис. 3.1.

Трубчастий електронагрівач

У якості наповнювача між корпусом і спіраллю ТЕНу застосовують в основному кварцовий пісок; він слугує водночас електроізоляцією спіралі від металевої трубки і провідником теплоти.

За допомогою ТЕНів можна нагрівати воду, розчини лугів і кислот, повітря, харчові жири і мінеральні масла. Їх виготовляють різноманітної довжини, діаметра і конфігурації, а також різноманітної номінальної потужності

Кількість теплоти, яку необхідно підвести в процесі нагрівання електричним струмом, визначається з теплового балансу:

$$Q_c + G \cdot c \cdot t_n = G \cdot c \cdot t_k + Q_v, \quad (3.1)$$

де Q_c – теплота, що підводиться до апарату електронагрівачем, Дж;
 c – питома теплоємність;
 t – температура;
 G – масова витрата теплоносія.

Потрібна потужність електронагрівача (у Вт) становить:

$$P = \frac{Q_c}{\tau \cdot \eta} \quad (3.2)$$

де Q_c – теплота, що підводиться до апарату електронагрівачем, Дж;

τ – час нагрівання, с;

η – ККД електронагрівача.

Електроконтактний спосіб нагрівання полягає в перетворюванні електричної енергії на теплову при проходженні змінного електричного струму промислової частоти (220 В, 50 Гц) через продукт як через провідник, якому властивий опір. На початку процесу, після замикання електричного кола, величина струму швидко зростає. При цьому також швидко зростає і температура матеріалу. Цей період є фазою розігріву. Друга фаза – припинення зростання струму в колі і сталість температури. При цьому теплота, що виділяється, витрачається на інтенсивне випаровування вологи і зниження вологовмісту матеріалу, що тягне за собою збільшення електричного опору матеріалу і зменшення величини струму. Третя фаза процесу (фаза охолодження) характеризується зниженням вологовмісту матеріалу, а отже, його провідності, що призводить майже до повного припинення струму в колі. Втрата вологи при цьому триває за рахунок теплоти, яка акумулювалася матеріалом. Готовність продукту настає при падінні струму, що протікає через нього, до 0,05–0,1 А. Коефіцієнт корисного використання електричної енергії при електроконтактному обробленні досягає 97–98 %.

До процесів електроконтактного оброблення продуктів належить і електроплазмоліз, за якого відбувається пошкодження протоплазмових оболонки клітин рослинної сировини, що дає збільшення виходу соку на 8–10 % порівняно із звичайними методами.

Індукційне нагрівання ґрунтується на використанні теплового ефекту, що спричинюється струмами Фуко, які виникають безпосередньо в стінках сталевих апаратів, що нагріваються. Апарат з індукційним нагрівом подібний до трансформатора, первинною обмоткою якого є індукційні котушки, а магнітопроводом і вторинною котушкою – стінки апарата. Цей вид нагрівання застосовується у водонагрівачах, але в апаратах харчових виробництв поки не знайшов належного розповсюдження.

Контрольні питання

1. Назвіть переваги і недоліки нагрівання середовищ електричним струмом.
2. Поясніть устрій і принцип дії типового ТЕНу.
3. Наведіть формулу для розрахунку потужності ТЕНу.
4. Опишіть сутність електроконтактного нагрівання.
5. В чому полягає сутність індукційного нагрівання?

ТЕМА 4

Спіральні, пластинчасті теплообмінники

У спіральному теплообміннику поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами (1 і 2), згорнутими у вигляді спіралі (рис. 4.1).

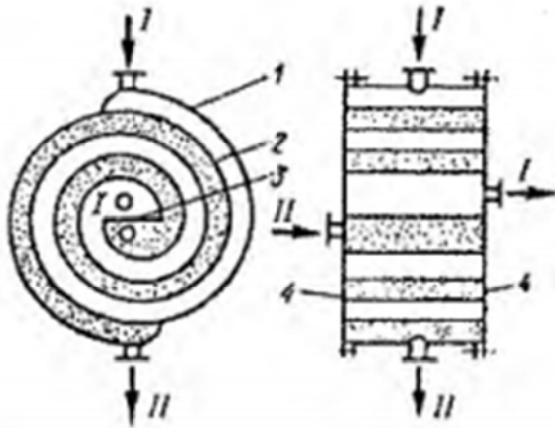


Рис. 4.1.

Спіральний теплообмінник

Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки (3), а їхні зовнішні кінці зварені один з одним. Торці спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками (4). Біля зовнішніх кінців спіралей та в центрі кришки приварені патрубки для введення і виведення теплоносіїв. Спіральний теплообмінник має високий коефіцієнт теплопередачі, незначний гідравлічний опір і відзначається компактністю. Однак він складний у виготовленні і непридатний для роботи під тиском понад 1 МПа.

Пластинчасті теплообмінники широко застосовуються для охолодження і підігрівання різноманітних рідин з робочими температурами до 300°C при тиску до 1,6 МПа (рис. 4.2). Теплообмінник с

кладається з пакету гофрованих металевих пластин. Між пластинами утворюються герметичні канали (7), у яких здійснюється протилежна течія

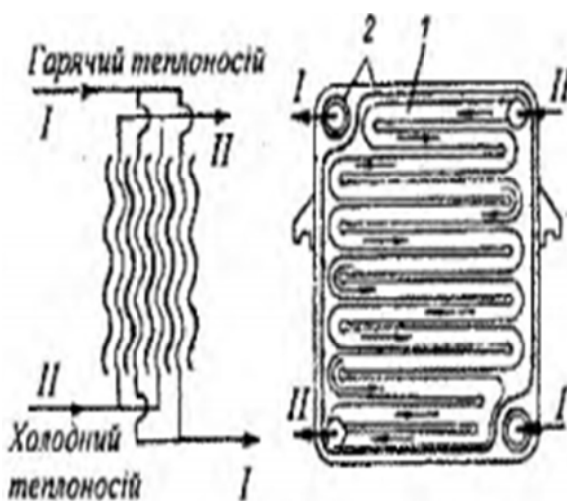


Рис. 4.2.

Пластинчастий теплообмінник

гарячого і холодного теплоносіїв. Пластини гофровані для того, щоб збільшити поверхню теплообміну і створити турбулентну течію рідини у вузьких каналах, відстань між якими дорівнює 3–10 мм. Пластини відокремлюються одна від одної прокладками (2) і мають два отвори по кутах для входу і виходу одного теплоносія, що циркулює в герметичному каналі. Через два інші кутові отвори в пластині втікає і витікає інший теплоносій. Пластини стягнуті затискачами.

Внаслідок високих швидкостей руху рідини між пластинами досягається високе значення коефіцієнта теплопередачі з малим гідравлічним опором.

Паралельне розташування плоских пластин з малими проміжками між ними дає змогу розмістити в просторі робочу поверхню теплообмінника найбільш компактним чином, завдяки чому значно зменшуються габарити пластинчастого апарата порівняно з іншими типами рідинних теплообмінників. Наприклад, коефіцієнт компактності пластинчастих апаратів (відношення робочої поверхні до об'єму робочої зони) досягає $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$, що у 5–10 разів більше, ніж для трубчастих.

Пластинчастий теплообмінник надає великі можливості по здійсненню різноманітних компонуючих варіантів і легко припускає збільшення (або зменшення) робочої поверхні апарата, який знаходиться в експлуатації. Він припускає вільне внесення різноманітних коригувань у схемі руху потоків і дає змогу зосереджувати на одній станині теплообмінні секції різноманітного призначення для виконання в одному апараті усього комплексу операцій теплового оброблення продуктів, що є надзвичайно важливим фактором.

Контрольні питання

1. Поясніть устрій і принцип роботи спірального теплообмінника.
2. Назвіть переваги та недоліки спіральних теплообмінників.
3. Поясніть устрій і принцип роботи пластинчастого теплообмінника.
4. Назвіть переваги та недоліки пластинчастих теплообмінників.
5. Схарактеризуйте особливості виготовлення різних типів теплообмінників.

ТЕМА 5

Адсорбенти

Активне вугілля одержують внаслідок сухої перегонки відповідної органічної сировини (кам'яного вугілля, деревини, тирси, кісточок з фруктів, відходів шкіряного, паперового, м'ясного виробництв) з наступним вилученням смолистих речовин з пор цієї сировини. Питома поверхня активного вугілля $600\text{--}1700\text{ м}^2/\text{г}$, насипна густина – $380\text{--}600\text{ кг}/\text{м}^3$; використовують їх у вигляді гранул розміром $1\text{--}7\text{ мм}$ або порошків з розміром частинок менше ніж $0,15\text{ мм}$. Активне вугілля використовується для очищення, освітлення і знебарвлювання рідких продуктів, а також вилучення з них запаху, присмаку, колоїдних та інших домішок. Активне вугілля застосовують також для очищення промислових газових викидів. Особливо відзначимо розроблений останніми роками адсорбент з високою поглинаючою спроможністю, що одержується з абрикосових та інших фруктових кісточок і використовується для очищення організму від отруйних і шкідливих речовин під час лікування гострих отруєнь, хвороб печінки і нирок.

Силікагелі – це продукти зневоднення гелю кремнієвої кислоти. Питома поверхня силікагелів – від 300 до $750\text{ м}^2/\text{г}$, насипна густина – $100\text{--}800\text{ кг}/\text{м}^3$, розмір гранул $0,2\text{--}7\text{ мм}$. Силікагелі використовують для осушення повітря в системі фреонової холодильної установки, освітлення пива і фруктових соків; вони здатні утримувати до 50% вологи від своєї маси.

Цеоліти – водні алюмосилікати природного або синтетичного походження з винятково тонкими порами. Їхня поглинальна здатність у $2\text{--}4$ рази вища, ніж силікагелей. Цеоліти застосовують для глибокого осушення газів (наприклад, у компресійних фреонових холодильних установках), для концентрування соків.

Глини та інші природні глинисті адсорбенти (бентоніти, діатоміти, трепели, інфузорна земля) займають особливо значне місце серед промислових адсорбентів завдяки значному їхньому поширенню в природі та низькій вартості. Глини мають значно меншу питому поверхню, ніж інші промислові адсорбенти ($35\text{--}150\text{ м}^2/\text{г}$), насипна густина їх $400\text{--}450\text{ кг}/\text{м}^3$. Глини особливо широко розповсюджені як адсорбент, що поглинає забарвлені речовини з олій і жирів (адсорбційне вибілювання), при освітленні вин (у виноробстві цей процес називається обклейкою) та фільтруванні пива.

Одним з видів адсорбентів є природні або синтетичні іоніти. Вони здатні обмінювати іони на еквівалентну кількість іонів того самого знаку з розчину, з яким вони взаємодіють. Таким чином, з розчину витягуються і утримуються адсорбентом іони, які підлягають вилученню з розчину. Синтетичні іоніти, які застосовуються в харчовій промисловості, відно-

сяться до смол. За допомогою іонної адсорбції може здійснюватися ряд процесів: одержання винної кислоти з коньячної барди, зм'якшення і знесолювання води, демінералізація і очищення соків, сиропів, бульйонів. Іонітові адсорбенти легко піддаються регенерації.

Як адсорбенти застосовуються також дріжджі, казеїн, желатин, риб'ячий клей та інші продукти. Адсорбентами є більшість твердих харчових продуктів. Тут слід відзначити цю їхню спроможність як позитивне явище, так і негативне. Йдеться передусім про поглинання твердими харчовими продуктами (в більшості своїй капілярно-пористими тілами) вологи з доквілля. Під час взаємодії з навколишнім вологим повітрям харчовий продукт у процесі зберігання поглинає вологу до встановлення рівноваги між вмістом водяної пари в повітрі та вологи в продукті. Зволоження продуктів у даному випадку створює сприятливі умови для їхнього псування – прискорюються хімічні та біохімічні реакції, відбувається підвищення температури продукту, що сприяє інтенсивному розвитку мікроорганізмів. До негативної адсорбційної властивості харчових продуктів відноситься також поглинання з навколишнього середовища різноманітного виду пари, газів, у тому числі й запашних. Тому з метою запобігання псування продуктів необхідно, щоб вони зберігалися в приміщеннях, які добре вентилуються, вільних від наявності будь-яких запахів і небажаних газових компонентів.

Контрольні питання

1. Схарактеризуйте адсорбційні властивості активованого вугілля.
2. Назвіть сфери застосування активованого вугілля.
3. Опишіть властивості глини та іонітів.
4. Перелічіть продукти, що володіють адсорбційними властивостями.
5. Як адсорбційна властивість харчових продуктів впливає на їхню якість?

ТЕМА 6

Перспективні способи сушіння вологих матеріалів

Висушені продукти тваринного та рослинного походження під час сушіння дають значну усадку, зменшуючись в об'ємі у 3–4 рази, а в процесі подальшої гідратації повільно відновлюються, поглинаючи воду. З метою усунення цих недоліків останніми роками розроблено ряд нових методів одержання швидко-відновлювальних сушених продуктів. До них відноситься одержання пористих продуктів шляхом:

- інтенсивного підведення теплоти до центра продукту (в ІЧ-променях, ВЧ і НВЧ-полях);
- створення перепаду тиску пари, що викликає руйнування структури продукту і збільшення його пористості («вибухове» сушіння і сушіння перегрітою парою);
- конвективного сушіння з попереднім заморожуванням;
- сублімаційного сушіння;
- сушіння у вспіненому стані.

Використання інфрачервоних променів для сушіння матеріалів дозволяє значно інтенсифікувати процеси внаслідок збільшення густини теплового потоку на поверхні матеріалу і проникнення цих променів на деяку глибину (0,1–2 мм).

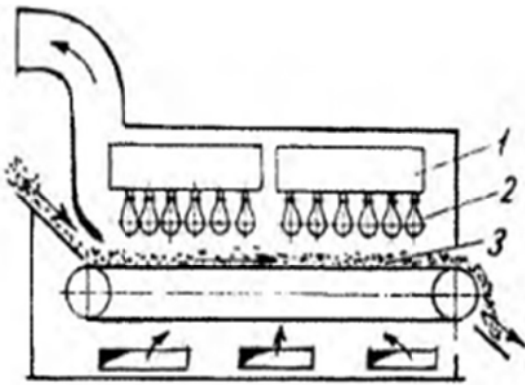


Рис. 6.1.

Стрічкова радіаційна сушарка

Як генератори ІЧ-випромінювання для промислових сушильних установок застосовуються спеціальні електричні лампи із дзеркальними відбивачами або керамічні екрани чи панелі, що обігріваються газом. На рис. 6.1 зображено схему стрічкової **термо-радіаційної сушарки**. Джерелом ІЧ-енергії в ній є лампи (2), оснащені рефлекторами (7),

що спрямовують промені на транспортер, який переміщує висушуваний продукт (3).

Під час інфрачервоного опромінення густина теплового потоку на поверхні матеріалу в 20–100 разів більша, ніж під час конвективного сушіння, тому, обираючи режим опромінення, враховують технологічні особливості матеріалів. Під час ІЧ-опромінення швидке нагрівання поверхні висушуваних частинок продукту створює температурний градієнт, що сприяє переміщенню вологи до центра частинок, тобто явище термоволо-

гопровідності стає гальмом сушіння. Крім того, швидке сушіння поверхні частинок призводить до утворення на них скоринки, що перешкоджає випаровуванню вологи в доквілля. Під час відключення генератора ІЧ-променів відбувається вирівнювання температур по перетину частинок, температурний градієнт змінює свій знак і волога спрямовується від центра до поверхні. Відбувається інтенсифікація процесу сушіння, а утворення скоринки виключається.

Сублімаційне сушіння – це сушіння матеріалів у замороженому стані, під час якого волога, що знаходиться в стані льоду, переходить у пару, обминаючи рідкий стан, тобто відбувається сублімація. Таке сушіння проводиться під глибшим вакуумом. Остаточний тиск у сублімаційних сушарках становить 13,33–133,3 Па (0,1–1,0 мм рт. ст.). Процес іде за відповідно низьких температур (близько -50°C).

Сушіння сублімацією проводять в установках (рис. 6.2), що складаються із сушильної камери-субліматора 7, конденсатора-заморожувача (4) і системи високовакуумних насосів. Вологий продукт попередньо заморожують за температури близько $-15-18^{\circ}\text{C}$. Для більшої частини біотехнологічних продуктів охолодження нижче ніж -18°C може призвести до необоротних змін білкових речовин. Заморожений продукт у деках 3 кладуть на порожнисті плити 2 (всередині їх може циркулювати гаряча вода) субліматора 1, де у високому вакуумі відбувається випаровування льоду і додаткове охолодження продукту. Коли значну частину вологи у вигляді пари усунуто з продукту, включають нагрівання гарячою водою і матеріал досушують за температури близько 30°C . Водяна пара із субліматора надходить у труби кожухотрубного конденсатора-виморожувача 4, у міжтрубному просторі якого циркулює низькотемпературний холодоносій (аміак, розсіл) з холодильної установки. У трубах конденсатора відбувається конденсація і заморожування водяної пари. Звичайно встановлюються два конденсатори, що працюють поперемінно: у той час як в одному конденсаторі відбувається конденсація і заморожування, другий розморожується для вилучення льоду.

Продукти, висушені сублімацією, зберігають структуру, колір, смак, запах, поживні властивості, біологічну цінність (білки, вітаміни) і можуть зберігатися тривалий час. Але цей спосіб дорогий і складний в апаратному відношенні.

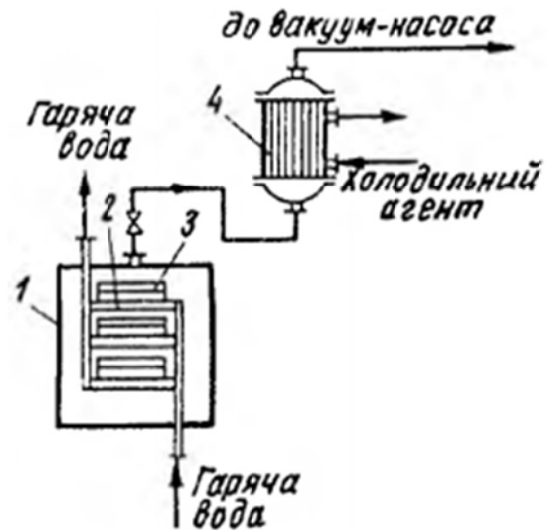


Рис. 6.2.
Сублімаційна сушарка

Суттєвість «вибухового» сушіння полягає в тому, що підготовлену сировину спочатку підсушують до вологості 25–45 %, а після цього завантажують у спеціальний апарат – «гармату», де піддають його «вибуху». Апарат – це циліндр, що обертається навколо горизонтальної осі. Для його нагрівання є розташовані під ним газові пальники. З одного боку циліндр має глуху кришку, а з другого – герметичну кришку, що закривається із замикаючим пристроєм. У апарат завантажують продукт, закривають кришку, встановлюють циліндр у горизонтальне положення, включають нагрів та привід. Після досягнення тиску в циліндрі близько 1,0–2,5 МПа скидають тиск. Це призводить до миттєвого перетворення частини вологи, що міститься в продукті, на пару, в результаті чого продукт набуває пористої структури (об'єм збільшується у 15–20 разів).

Суть способу сушіння продуктів у спіненому стані з одержанням швидко відновлювальних порошків полягає в тому, що пюреподібний або концентрований рідкий продукт збивають у стійку піну з використанням піностабілізуючих речовин і висушують до вмісту вологи 2–4 %. Спінювання надає продукту більш жорстку структуру і збільшує його поверхню для прискорення дифузії вологи. З точки зору теплопередачі цей спосіб не ефективний, оскільки піні притаманна низька теплопровідність. Проте піносушіння – це порівняно швидкий спосіб сушіння, що не потребує високої температури. Для стабілізації піни використовують емульгатори (сухе молоко, агар, желатин, крохмаль, метилцелюлозу та ін.), для покращення спінювання через збиту масу в деяких випадках продувають повітря. Сушіння піни найчастіше здійснюють конвективним способом на стрічкових сушарках. Висушений продукт подрібнюють, просівають та пакують у герметичну тару. Піносушінню піддають соки та пюре малини, полуниці, яблук, пюре з томатів, картопляне пюре та ін. продукти.

Контрольні питання

1. Поясніть сутність ІЧ-сушіння.
2. В чому полягає сутність сублімаційного висушування матеріалів?
3. Наведіть схему сублімаційної сушильної установки.
4. Поясніть принцип «вибухового» сушіння.
5. В чому полягає сутність сушіння матеріалів у спіненому стані?

Список використаної літератури

1. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості / Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков. – Львів : Інтелект-Захід, 2008. – 736 с.
2. Стасевич М. В. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібник для студ. вищ. навч. заклад. / М. В. Стасевич, А. О. Милянч, І. О. Гузьова [та ін.] ; за ред. В. П. Новікова. – Вінниця : Нова Книга, 2012. – 408 с.
3. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Ч.ІІІ. Основи проектування мікробіологічних виробництв : навч. посібник / Ю. І. Сидоров, Р. Й. Влязло, В. П. Новіков. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 252 с.
4. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості : підручник / М. В. Стасевич, А. О. Милянч, Л. С. Стрельников та ін. – Львів : Новий Світ-2000, 2017. – 410 с.
5. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Ч. 1. – 300 с.
6. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Ч. 2. – 416 с.

Навчальне видання

Іванов Євген Геннадійович

**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні рекомендації
щодо самостійної роботи для студентів біологічного факультету
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,76. Наклад 50 пр. Зам. № 263/24.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна