

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра Агроінженерії

Процеси і апарати біотехнологічних виробництв:

методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт здобувачами
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Біотехнології та
біоінженерія» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв

2023

УДК 631.3:573.6
П78

Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 12.06.23, протокол № 12.

Укладачі:

- Сидорика Ігор – к.т.н., доцент кафедри Агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету;
- Садовий Олексій – к.т.н., доцент кафедри Агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету;

Рецензенти:

- Грубань Василь. – канд. тех. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.
- Ставинський Андрій – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Загальні рекомендації з виконання лабораторних робіт з курсу “Процеси і апарати біотехнологічних виробництв”	5
2. Цілі навчальної дисципліни	6
3. Лабораторні роботи.....	7
Лабораторна робота №1. Прилади для вимірювання тиску.....	7
Лабораторна робота №2. Гідростатичний тиск, його основні властивості....	10
Лабораторна робота №3. Дослідження форм вільної поверхні і поверхні вільного тиску	13
Лабораторна робота №4. Застосування основного рівняння гідростатики. (Закон Паскаля).....	16
Лабораторна робота №5. Апарати для подрібнення матеріалів.....	20
Лабораторна робота №6. Процеси перемішування рідинних систем.....	24
Лабораторна робота №7. Дослідження та розрахунок процесу фільтрування технологічних середовищ	29
Лабораторна робота №8. Дослідження та розрахунок процесу сушіння	32
Література.....	38

ВСТУП

Дисципліна "Процеси і апарати біотехнологічних виробництв" – загально-інженерна дисципліна і є базовою для вивчення дисциплін спеціальної технології та спеціального обладнання. Дисципліна "Процеси і апарати біотехнології" дає знання основ теорії біореакторів, загальних закономірностей розвитку біосистем, забезпечення їх захищеного культивування, особливостей масообміну на мікро- і макрорівні у трьохфазних системах в умовах значної інтенсифікації та масштабуванні процесів.

На основі знань з математики, фізики, фізичної хімії, теплотехніки, прикладної механіки дисципліна "Процеси і апарати біотехнологічних виробництв" дає теорію основних технологічних процесів, основи методики розрахунку апаратів, їх раціональну класифікацію, принципи моделювання і оптимізації з урахуванням екологічних обмежень. Теорія процесів базується на сучасних уявленнях і досягненнях фундаментальних наук. Матеріал подається у порядку зростання складності й розповсюженості процесів. Теорія біоінженерних процесів базується як на класичних фундаментальних науках, так і на їх об'єднанні в нову інтегральну науку (полінауку) – біофізичну хімію.

Вивчення процесів і апаратів пов'язується з екологічними проблемами і питаннями економіки. Враховуючи те, що дисципліна "Процеси і апарати біотехнологічних виробництв" використовується як база для вивчення загальних властивостей процесів ведеться з орієнтацією на можливість їх реалізації в біотехнології, а також детальніше розглядаються ті розділи загального курсу, які в біотехнології застосовуються на більш високому фундаментальному рівні.

1. Загальні рекомендації з виконання лабораторних робіт з “Процесів і апаратів біотехнологічних виробництв”

Порядок виконання лабораторних робіт

1. Для виконання лабораторних робіт група розбивається на бригади по три-чотири особи. Порядковий номер бригади у лабораторному журналі відповідає варіанту завдання до лабораторної роботи.

Категорично забороняється зміна варіанта без дозволу викладача.

2. Студенти повинні заздалегідь готуватися до чергового заняття, використовуючи конспект лекцій та рекомендовану літературу, та з'являтися до лабораторії з підготовленим протоколом. Чи не підготовлені до занять студенти до роботи не допускаються.

3. На початку кожного заняття здійснюється контроль теоретичної підготовки студентів. За результатами цього опитування та подальшого захисту (на наступному занятті) повністю оформленого протоколу виконаної лабораторної роботи виставляється підсумкова оцінка роботи.

4. Під час занять у лабораторії повинні підтримуватись порядок та ділова обстановка. Студентам забороняється залишати робоче місце.

5. Студенти повинні дбайливо поводитися з обладнанням. Під час лабораторних робіт вони несуть повну відповідальність за збереження та справність закріплених за ними стендів, елементів та приладів.

Пропущені або неправильно виконані роботи відпрацьовуються після допуску викладача.

Порядок оформлення звіту

Звіт з лабораторних робіт оформляється на аркушах паперу формату А4 (210x297 мм) відповідно до вимог ДСТУ. Текст має бути написаний чітко та акуратно. У тексті допускається застосування лише загальноприйнятих позначень та скорочень, розшифрованих за першої згадки.

До звіту повинні входити: титульний лист; мета роботи; принципова схема досліджуваного ланцюга; порядок проведення дослідів; розрахункові формули та обчислення; таблиця використовуваних приладів; результати дослідження (таблиці, графіки, числові значення певних параметрів чи режимів); аналіз отриманих результатів та висновки по роботі.

До початку роботи оформляється протокол звіту, що включає основні теоретичні відомості з необхідними таблицями і формулами.

Схеми та графічні побудови необхідно виконувати з дотриманням прийнятих ДСТУ позначень. Для діаграм необхідно вказувати масштаби.

2. Цілі навчальної дисципліни

Номер цілі	Зміст цілі
	1. Студент повинен знати:
1.1	- основні процеси і апарати біотехнології, їх значення, мету і завдання;
1.2	- основи теорії загальних технологічних процесів, створені в результаті застосування фундаментальних законів природи у конкретних умовах цих процесів;
1.3	- основи розрахунку процесів і апаратів, потрібних для їх оптимального перебігу;
1.4	- зв'язок загальних процесів зі спеціальними процесами біохімічної і хімічної технології;
1.5	- напрями інтенсифікації технологічних процесів та їх оптимального застосування з урахуванням екологічних обмежень.
	2. Студент повинен уміти:
2.1	- добрати процес (або комплекс процесів і апаратів) для здійснення певної технологічної операції;
2.2	- створити схему апарата;
2.3	- визначити основні параметри процесу і розміри апарата, за заданими вихідними даними знайти оптимальні умови ведення процесу і вказати можливі шляхи вдосконалення процесу і апарата для його здійснення.
	3. Студент повинен мати навички:
3.1	- висувати гіпотези щодо виникнення певної ситуації;
3.2	- вибирати певні способи для вирішення завдань дисципліни;
3.3	- аналізувати одержані результати за вибраними критеріями;
3.4	- самостійно приймати рішення щодо здійснення того чи іншого процесу.

3. Лабораторні роботи з

“Процесів і апаратів біотехнологічних виробництв”

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Прилади для вимірювання тиску.

Мета роботи

Вивчення складу принципу роботи приладів для вимірювання тиску п'єзометра, ртутного, диференціального, пружинного і мембранного манометрів.

1. Основні теоретичні положення

Для вимірювання величини гідравлічного тиску використовуються різні прилади, які можна розділити на дві основні групи – рідинні і механічні.

Найбільш простим приладом рідинного типу є **п'єзометр** (див. схему на рис.1.1), який вимірює тиск в рідині висотою стовпа рідини. При цьому тиск рідини на поверхні посудини визначається за формулою:

$$P = P_a + \gamma h$$

де: γ – об'ємна вага рідини;

P_a – атмосферний тиск.

П'єзометр являється дуже чутливим і точним приладом, він зручний для вимірювання тиску до 10кПа, але при великому тиску трубка п'єзометра виявляється занадто довгою, що ускладнює вимірювання.

Ртутний манометр (див. рис.1.2) представляє собою U-подібну скляну трубку, зігнуте коліно якої заповнюється ртуттю. Під дією тиску в посудині рівень ртуті в лівому коліні манометра зменшується, а в правому – збільшується.

Тиск на поверхні рідини при цьому визначається за формулою:

$$P = P_a + \gamma_{рм} h_{рм} - \gamma_1 h_1$$

де: γ_1 і $\gamma_{рм}$ – об'ємна вага рідини і ртуті в посудині.

Диференціальний манометр (див. рис.1.3) використовують у випадках, коли необхідно виміряти різницю в двох посудих або двох точках рідини в одному і тому ж посуді. Різниця тиску в т.А і т.В визначається за формулою:

$$P_A - P_B = (\gamma_{pm} - \gamma_1)h$$

Мікроманометри (рис.1.4) використовуються для вимірювання малого по величині тиску. Він складається з резервуара А, який приєднаний до посудини, в якій вимірюється тиск, і манометричної трубки В, кут нахилу якої до горизонту α можна змінювати.

Тиск у основи трубки, який вимірюється мікроманометром, визначається за виразом:

$$P = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Вакуумметри (рис.1.5) застосовуються для вимірювання тиску менше атмосферного, тобто в посуді є вакуум. Принципово вони не відлічуються від ртутних манометрів і представляють собою заповнену ртуттю трубку, один кінець якої приєднаний до посудини де вимірюється тиск, а другий – відкритий. Значення вакууму визначається за формулою:

$$h_{pm} = (P_a - P) / \gamma_{pm}$$

Для заповнення вакуумметрів не можливо використовувати рідину таку, як спирт, ефір, так як зі зниженням тиску вони випаровуються і можуть закипіти.

У випадку, коли потрібно виміряти великий тиск, застосовують прилади другого типу – механічні, з яких найбільше застосовуються пружинний і мембранний манометри (рис.1.6).

Пружинний манометр складається з тонкостінної трубки з латуні, один край якої запаяний. Цей приєднаний за допомогою ланцюга з зубчастим механізмом. Другий кінець трубки – відкритий – приєднаний до посудини, в якій роблять заміри тиску. Через цей кінець в латунну трубку поступає рідина. Від тиску трубка, як пружина, частково вирівнюється і через

зубчастий механізм приводить в рух стрілку, по відхиленню якої судять про величину тиску в атмосфера або в кілопаскалях.

В мембранних манометрах рідина тисне на тонку металеву пластину–мембрану. Деформація мембрани через важелі передається до стрілки, яка вказує величину тиску.

2. Практичне завдання

1. Детально проробити теоретичний матеріал, який викладений в пункті “Основні теоретичні положення”.

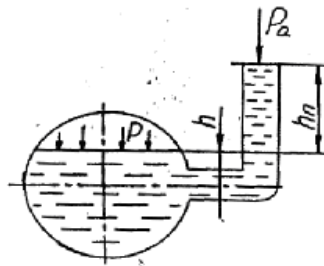
2. Законспектувати основні положення роботи.

3. Детально розглянути будову, принцип дії та закон який визначає роботу одного з приладів приведених в роботі.

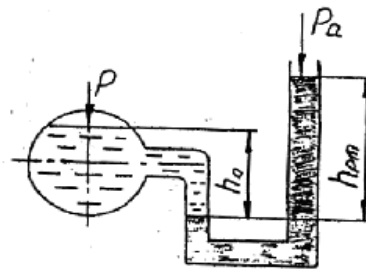
4. По результатам виконаного завдання дати відповіді на контрольні запитання та зробити висновки.

Контрольні запитання

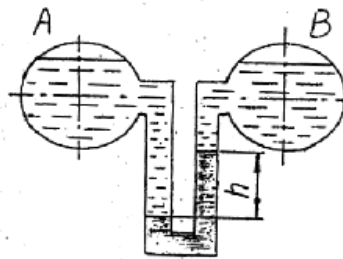
1. Коли доцільно використовувати технічний манометр?
2. Де і для чого застосовується мікроманометр?
3. Що таке п’єзометр?
4. Принцип роботи мембранного манометра



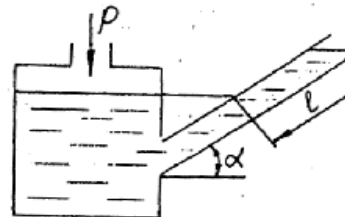
Puc. 11



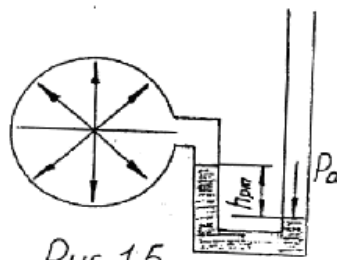
Puc. 12



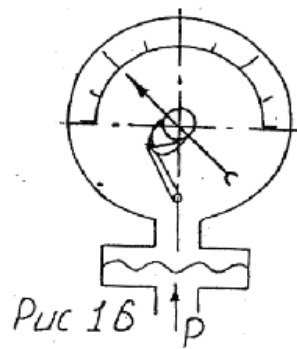
Puc. 13



Puc. 14



Puc. 15



Puc 16

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Гідростатичний тиск, його основні властивості.

Мета роботи:

1. засвоїти поняття гідростатичного тиску, як основного поняття гідростатики.
2. Дослідити основні властивості гідростатичного тиску.

1. Основні теоретичні положення

В гідростатиці розглядається рідина, яка знаходиться в стані спокою. При цьому основним поняттям гідростатики є поняття гідростатичного тиску.

Якщо в будь-якому перерізі, який знаходиться в рівновазі під дією довільних зовнішніх сил рідкого тіла (рис.2.1), виділити елементарну площадку $\Delta\omega$, на яку діє елементарна сила P , та що стискає, то при зменшенні площадки $\Delta\omega$ до нуля, гідростатичний тиск в даній точці рідини

$$P = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \Delta P / \Delta\omega, \text{ або } P = dP/d\omega.$$

Таким чином гідростатичний тиск є внутрішньою силою, яка діє в даній точці рідини. Тобто, в випадку рідини у спокої, поняття «тиск в точці» співпадає з поняттям «напруження» відомим з курсу «Опір матеріалів». Якщо точка, що розглядається знаходиться в межах будь-якої фіксованої точки, тобто гідростатичний тиск направлено по нормалі до неї.

Якщо густина рідини ρ з достатньою ступінню точності може бути прийнята постійною, то гідростатичний тиск в любій крапці рідини, яка знаходиться в рівновазі під дією довільних зовнішніх сил, дорівнює

$$P = \rho \int (Xdx + Ydy + Zdz)$$

де X, Y, Z – проекції прискорень, що визвані зовнішніми силами, на відповідні координатні осі.

Тиск в крапці має дві основні властивості:

Перша властивість. Гідростатичний тиск в крапці діє нормально до площадки дії і є стискаючим, тобто він направлений всередину того об'єму рідини, тиск на який ми розглядаємо.

На рис.2.2 представляємо деякий об'єм рідини, яка знаходиться в спокої. Цей об'єм розтинаємо поверхнею АВ на два відсіки: I і II.

Розглядаючи відсік II(заштрихований) і силу, яка прикладена до нього зі сторони відсіку I, помітимо на поверхні АВ декілька крапок (а, в, с), біля яких виділимо так звані площадки дії і проведемо до них нормалі $N^{\prime}N^{\prime\prime}$.

Друга властивість. Величина тиску в даній крапці не залежить від орієнтації, тобто від кута нахилу площадки дії.

Для пояснення другої властивості уявимо на рис.2.3 об'єм рідини в посуді, що знаходиться в спокої. Через довільну крапку А в середині рідини проведемо декілька поверхнею (1-1,2-2, і т.п.), які розбивають даний об'єм рідини на два відсіки: I і II. В подальшому, виділивши біля крапки А ряд площадок ($\delta\omega_1, \delta\omega_2$ і т.п.) на поверхнях 1-1, 2-2 і т.п. відмітимо, що всі ці площадки мають різну орієнтацію і відповідні до тиску P_1, P_2 в точці А.

Відповідно до першої властивості, тиск в крапці повинен бути направлений по нормалі до відповідних площадок дії; відповідно другої властивості тиск P_1, P_2 повинні бути однакові по величині, тобто для даної точки А:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots$$

Для доведення справедливості даного твердження необхідно взяти в середині рідини в спокою довільну точку А (рис.2.4а), виділити біля цієї крапки елементарний об'єм рідини у вигляді прямої трикутної призми АВС, з довільним кутом нахилу грані ВС до горизонту, намітити осі координат як показано на рис.2.4,а і відмітити через dx, dz, dl довжини сторін основи призми, а через dy її висоту. Показати біля крапки А три елементарні площадки різної орієнтації і відповідні їм тиски в крапці А(P_x, P_y, P_l).

В подальшому, після розглядання сил гідравлічного тиску P_x, P_y, P_l , які діють на грані призми, і маємо на увазі, що трикутники сил А,В,С (рис.2.4б),

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження форм вільної поверхні і поверхні вільного тиску.

Мета роботи:

визначення зв'язку між координатами вільної поверхні і зовнішніми об'ємними силами, які діють на рідину.

1. Основні теоретичні положення

Поверхня в рідині з однаковим тиском в усіх її крапках називається **поверхнею рівного тиску**. Поверхня, яка відділяє рідке тіло від газового середовища називається **вільною поверхнею рідини**. Вільна поверхня також є поверхнею рівного тиску. У відкритих посудих цей тиск рівний атмосферному.

Якщо диференціальне рівняння рівноваги рідкого тіла помножити кожне з них на dx, dy, dz і скласти між собою, то отримаємо:

$$(\partial P/\partial x)dx + (\partial P/\partial y)dy + (\partial P/\partial z)dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz).$$

Тут ліва частина отриманого рівняння – повний диференціал функції $P = f(x, y, z)$, тобто dF . Відповідно

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz).$$

Для поверхні рівного тиску $P = \text{const}$, $dP = 0$, і, відповідно, так як $\rho \neq 0$, то для неї

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

Отримане рівняння є **диференціальним рівнянням поверхні рівного тиску** і встановлює зв'язок між координатами вільної поверхні і діючими на рідину зовнішніми об'ємними силами, які характеризуються прискореннями X, Y, Z . Використавши це рівняння в лабораторній роботі досліджуємо форми вільної поверхні і поверхні рівного тиску при комбінаціях сил, які найбільш зустрічаються:

Випадок 1. **рідина знаходиться під дією тільки сили тяжіння** (рис.3.1). в даному випадку проекції прискорень об'ємних в усіх крапках рідини однакові і відповідно рівні:

$$X=0, Y=0, Z=-G.$$

Випадок 2. **рідина знаходиться в посуді, який прямолінійно рівноприскорено рухається** по горизонтальній площині (рис.3.2) з прискоренням a . В цьому випадку рідина знаходиться під дією сили тяжіння і сили інерції, яка характеризується прискоренням a і протилежним напрямом.

При цьому

$$X=-a, Y=0, Z=-g.$$

Випадок 3. **рідина знаходиться в посуді, що рівномірно обертається навколо вертикальної осі з незмінною кутовою швидкістю** (рис.3.3). На частинки рідини діють центр обіжні сили, які характеризуються прискореннями $X=\omega^2x$ і $Y=\omega^2y$,

а також сила тяжіння, прискорення якої

$$Z=-g.$$

2. Практичне завдання

1. Проробіть в основнім положенні послідовність суджень, які приводять до отримання диференціального рівняння рівного тиску

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

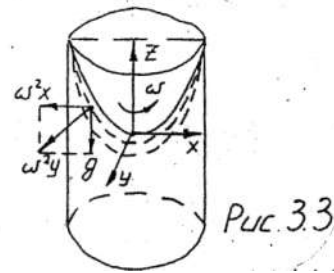
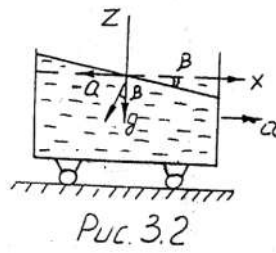
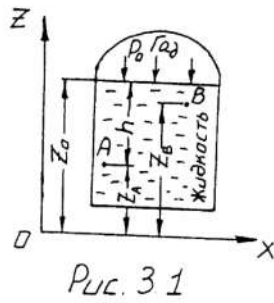
2. Вивчити умови для трьох випадків досліджень форм вільної поверхні і поверхні рівного тиску при найчастіших комбінаціях сил

3. Для всіх трьох випадків визначити вид диференціального рівняння поверхні рівного тиску, як називається і якими параметрами характеризується. Дати відповіді на контрольні запитання.

4. Рішення роботи повинно бути законспектоване з відповідними рисунками і висновками.

Контрольні запитання.

1. З чого складається диференціальне рівняння поверхні рівного тиску?
2. Чим відрізняються поняття поверхні рівного тиску і вільної поверхні рідини?
3. Чим характеризуються зовнішні об'ємні сили, які діють на рідину?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Застосування основного рівняння гідростатики. (Закон Паскаля)

Мета роботи:

закріплення теоретичних знань по отриманню і використанню основного рівняння гідростатики шляхом детального засвоєння теоретичних понять.

1. Основні теоретичні положення

Використовуючи рівняння $dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$, яке виведене з диференціальних рівнянь рівноваги рідини (рівняння Ейлера) можливо розглянути окремий випадок, коли рідина заточена в посуді і знаходиться під дією тільки сили тяжіння (рис.3.1).

В цьому випадку проекції прискорень об'ємних сил на осі координат будуть відповідно дорівнювати $X=0, Y=0, Z=-g$. На основі цього рівняння можна записати

$$dP = -\rho g dz \quad (4.1)$$

Так як $\rho g = \gamma$, то останнє рівняння можна записати у вигляді

$$dz + \gamma dp = 0 \quad (4.2)$$

Інтегруючи його отримуємо

$$Z + P/\gamma = H_s = \text{const} \quad (4.3)$$

тут H_s - називається гідростатичним напором, який, як видно з останнього рівняння, в усіх крапках даного об'єму рідини в спокою однаковий.

Тобто, якщо взяти в рідині дві крапки А і В, які відповідно лежать на висоті Z_A і Z_B , то для них можна записати

$$Z_A + P_A/\gamma = Z_B + P_B/\gamma,$$

де P_A, P_B – гідростатичний тиск в цих крапках (рис.3.1.).

Звідси

$$P_A = P_B + \gamma(Z_B - Z_A) \quad (4.4)$$

Тобто, тиск в крапці А рідини ,яка знаходиться в спокої, більший ніж в другій крапці В ,яка лежить вище, на величину добутку питомої ваги рідини γ на різницю висот (Z_B-Z_A) цих крапок.

Тобто, тиск в крапці, зануреної під поверхню на глибину h , буде

$$P=P_b + \gamma h, (4.5)$$

Ця рівність називається **основним рівнянням гідростатики**

Тут P_b – тиск на вільній поверхні рідини; у відкритих сосудах він дорівнює атмосферному тиску $P_{атм}$.

У відкритих сосудах γh носить назву **надлишкового гідростатичного тиску** (над атмосферним тиском на вільній поверхні). Величини P_b і γh мають розмірність Од. сили /од. довжини

З основного рівняння гідростатики видно ,що тиск P_b , який є на поверхні рідини, передається в любую крапку рідини без зміни; величина P_b складається в загальному виді з атмосферного тиску $P_{атм}$ на поверхні і із того додаткового тиску $P_{дод} = P/\omega$, який в деяких випадках може передаватись на вільну поверхню рідини, наприклад, за допомогою поршня та навантаження на нього.

Основне рівняння гідростатики, таким чином, виражається законом Паскаля **зовнішній одиничний тиск, діючий на рідину в замкнутій посудині, може передаватись в середині рідини в усі боки з однаковою силою.** Тобто, в загальному випадку

$$P =P_b + P_{дод} + \gamma h (4.6)$$

На використанні закону Паскаля засновано деякі гідравлічні машини, наприклад, гідравлічний прес. Він використовується в тих випадках, коли потрібно отримати великі зусилля, наприклад, при випробуванні на роздрібнення будівельних матеріалів, при запресуванні і т. п.

Гідравлічний прес складається з двох поєднаних посудин (рис 4.1): одна з яких з малою площею перерізу ω , а друга з більшою площею перерізу Ω . Якщо на поверхню рідини в меншому посуді надати за допомогою поршня

тиску P_1 , то по закону Паскаля в середину рідини передається додатковий тиск

$$P_{\text{дод.}} = P_1 / \omega,$$

який передається в другій посудині на поршень площею Ω з силою $P_{\text{дод.}}$

$$P_2 = P_1 \Omega / \omega.$$

Таким чином, на поршень площею Ω рідина давить з тиском P_2 більше, ніж P_1 в стільки раз, в скільки раз площа Ω більша за площу ω (тертям о стінки посудини нехтують).

Приклад 1. Посуд заповнений водою до висоти $h=50$ см, до вільної поверхні площею $\omega=100\text{см}^2$. за допомогою поршня прикладена сила $P=5\text{кг}$. (рис 4.2). Потрібно визначити величину гідростатичного тиску на всю площину дна посудини $\Omega = 1000\text{см}^2$ (без урахування атмосферного тиску).

Приклад 2. В з'єднаних посудях різних діаметрів налиті дві неоднорідні не змішуванні рідини з питомою вагою γ_1 і γ_2 відповідно (рис. 4.3). Потрібно визначити висоти h_1 і h_2 вільних поверхонь цих рідин над площиною розділу при рівновазі.

Рішення прикладів виконати за час лабораторної роботи з відповідними висновками.

2. Практичне завдання

1. Детально проробити завдання на виконання лабораторної роботи і допоміжний теоретичний матеріал, який викладений в пункті 1. “Основні положення”.

2. Законспектувати основні положення роботи і умови прикладів 1 і 2 .

3. Виконати рішення прикладів 1 і 2, використовуючи формули і залежності, приведені в роботі. Дати відповіді на контрольні запитання

4. По результатам виконаного завдання, викладеного в прикладах зробити висновки.

Контрольні запитання.

1. В чому полягає основне рівняння гідростатики?
2. Сформулюйте закон Паскаля?
3. Пристрій яких гідравлічних машин засновано на використанні закону Паскаля?
4. Дайте визначення збиткового гідростатичного тиску.

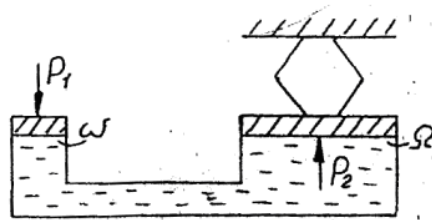


Рис. 4.1

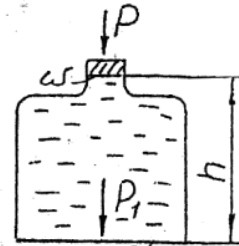


Рис. 4.2

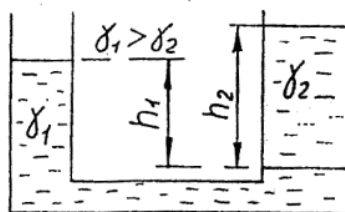


Рис. 4.3

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Апарати для подрібнення матеріалів

Мета роботи:

1. Обрати апарат який застосовується для подрібнення матеріалів та сировини, вивчити його конструкції та принципи дії;
2. Описати технологічний процес подрібнення машинног агрегату;
3. Набути практичних навичок розрахунку машин для подрібнення.

1. Опис експериментальної установки.

Для дослідження процесу подрібнення використовується машинний агрегат - вальцьова дробарка. Схема апарату указані на рис. 1.

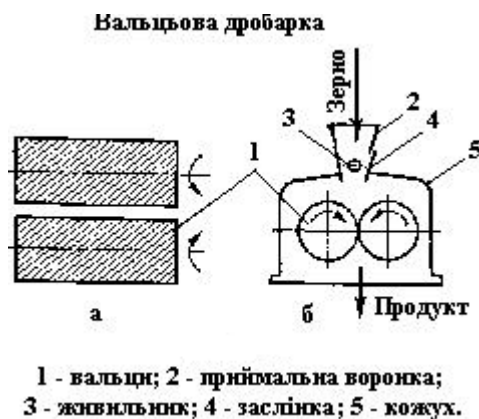


Рис. 1. Схема вальцьової дробарки.

2. Основні теоретичні положення.

1. Вивчити розділ курсу "Процеси і апарати біотехнологічного виробництва".

2. *Вальцьові дробарки.* Основними параметрами, що характеризують роботу вальцьових дробарок, є кут захвату та частота обертання валків, їх продуктивність і споживана ними потужність.

Для захоплення шматків матеріалу валками повинна витримуватися умова $a < \varphi$, де φ - коефіцієнт тертя матеріалу об валок, рівний 0,37 для пшениці, жита і ячменю, 0,33 - для бобів і 0,28 - для проса.

Граничну частоту обертання валків n (об/хв) визначають за формулою

$$n = 616 \text{sq}r(\varphi * (\rho * d_n D)), \quad (5.1)$$

а граничну окружну швидкість обертання валків ω (м/с):

$$\omega = \pi D n / 60, \quad (5.2)$$

де φ - коефіцієнт тертя;

ρ - об'ємна маса подрібнюваного матеріалу, кг/м³;

d_n - початковий діаметр подрібнюваного матеріалу, м;

D - діаметр валка, м.

Зазвичай $\omega = 2,5 \dots 5$ м/с.

Продуктивність вальцьової дробарки G (кг/год) визначається за формулою

$$G = 60\pi D b l n (\rho \psi), \quad (5.3)$$

де D - діаметр валків, м;

b - ширина зазору між валками, м;

l - довжина валка, м;

n - частота обертання валків, об/хв;

ρ - об'ємна маса подрібнюваного матеріалу, кг/м³;

ψ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність живлення валків, $\psi = 0,5 \dots 0,7$.

Якщо валки обертаються з різною частотою, то їх продуктивність визначають за середньою частотою обертання.

Потужність N (кВт), споживана вальцьовою дробаркою, визначається таким чином:

$$N = 0,117 D l n (120 d_n + D^2). \quad (5.4)$$

Тут значення D , l і d_n подані в м, n - в об/хв.

Розмір часток, що надходять на подрібнення, повинен бути в 20...25 разів менше діаметра гладких валків і в 10... 12 разів менше діаметра рифлених валків; для дробарок із зубчастими валками (у разі подрібнення плодів і овочів) відношення $D / d_n = 2 \dots 5$.

3. Практичне завдання

1. Детально проробити завдання на виконання лабораторної роботи і допоміжний теоретичний матеріал, який викладений в пункті 2.1 “Основні теоретичні положення”.

2. Законспектувати основні положення роботи і умови роботи апарату.

3. Розв’язати завдання, використовуючи формули і залежності, приведені в роботі. Дати відповіді на контрольні запитання

4. По результатам виконаного завдання, викладеного в прикладах зробити висновки.

Завдання.

Визначити продуктивність, частоту і швидкість обертання валків та потужність яку споживає вальцьова дробарка, якщо діаметр валків $D = 0,25$

м, об'ємна маса подрібнюваного проса $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт тертя його об валок $\varphi = 0,28$ і розмір зерен $d_n = 3,5 \text{ мм}$, ширина зазору між валками $b = 2 \text{ мм}$, довжина валка $l = 0,3 \text{ м}$.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Яке призначення та суть процесу подрібнення?
2. Пояснити конструкцію і принцип дії машин для подрібнення.
3. Навести способи подрібнення та існуючі конструкції подрібнювачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Процеси перемішування рідинних систем.

Мета роботи:

1. Ознайомитись з основними теоретичними положеннями з процесу перемішування.
2. Розглянути, як приклад, один із обраних типів апарату (мішалки) та показати доцільність використання цього апарату, як спосіб перемішування, на прикладі.
3. Розглянути основні залежності та розв'язати згідно з варіантом завдання.

1. Загальні теоретичні відомості.

1. У процесі виробництва харчових продуктів і приготування певного асортименту страв, виникає необхідність здійснення таких механічних операцій, як перемішування, збивання, змішування.

Перемішування – це допоміжний процес, що використовується в підприємствах громадського харчування в процесі приготування різних видів тіста, мусів, самбуків, котлет, вінегретів, салатів та інших продуктів.

Перемішування – це механічний процес утворення продукту із різних продуктів – сипких, рідких, газоподібних. При цьому можливе:

- 1) Перемішування рідини з рідиною, рідини з газом;
- 2) Перемішування з метою збереження гетерогенної системи;
- 3) Перемішування з метою інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів.

Усі процеси перемішування можна поділити на 4 (чотири) основні типи (способи)

- механічне;
- пневматичне;

- циркуляційне; перемішування в потоці шляхом створення штучної турбуляції.
- якірні – це найбільш поширений тип змішувачів, який використовують для перемішування і збивання високов'язких і пластичних систем – у процесі приготування солодких страв і кондитерських виробів.

Механічне перемішування – це найбільш ефективний і поширений спосіб перемішування, який використовується у підприємствах громадського харчування. Його здійснюють за допомогою виконавчих органів певної конфігурації – мішалок (змішувачів), які насаджують на вали, здійснюючи обертальні руху.

Найбільш поширеними типами якірних збивачів є:

- а) прутковий – використовують для збивання мусів, самбуків, вершків, кремів;
- б) плоско решітчастий – для збивання кремів, яєчних сумішей, морозива, майонезі, заварного тіста.
- с) гачковий – для перемішування сиропів, помадок, замісу тіста.

Пневматичне перемішування – це процес перемішування рідин за допомогою стиснутого повітря або будь-якого іншого газу.

Цей спосіб перемішування доцільно використовувати у випадках взаємодії певних рідин з газами – при виробництві алкогольних напоїв, безалкогольних напоїв, соків. Циркуляційне перемішування – це перемішування відповідних рідин за допомогою спеціального насоса, який здійснює перекачування рідини по замкнутій системі (циклу) – «резервуар – насос – резервуар». Інтенсивність виконання такого способу залежить від кратності, тобто кількості рідини, що перекачується насосом, за одиницю часу до загального об'єму рідини в резервуарі. Цей вид перемішування використовують при виготовленні тонізуючих напоїв.

Тривалість процесу перемішування для досягнення певного значення коефіцієнта однорідності залежить від багатьох чинників: конструкції

змішування, швидкості й характеру руху його робочого органу, фізикохімічних властивостей компонентів суміші.

Для кожного типу змішувачів існують свої рекомендації щодо визначення тривалості процесу. Однак в умовах виробництва тривалість процесу перемішування визначається, як правило, експериментально.

Для спрощення розрахунків дослідні дані про величини потужності, яка витрачається на перемішування, представляють у вигляді графічної залежності критерію потужності K_N від модифікованого критерію Рейнольдса (Re_M).

При перемішуванні механічними мішалками розрізняють два режими перемішування: ламінарний та турбулентний. Ламінарний режим (Re менш 30) відповідає неінтенсивному перемішуванню, при якому рідина плавно обтікає краї лопаті мішалки, захвачується лопатями і обертається разом з ними. При ламінарному режимі перемішуються тільки ті шари рідини, які безпосередньо контактують з лопатями мішалки. Зі збільшенням числа обертів мішалки зростає опір середовища обертанню мішалки, який спричиняється турбулізацією граничного шару та виникненням турбулентного кормового сліду в просторі за лопатями, які рухаються. При (Re більше 10^2) м виникає турбулентний режим перемішування, який характеризується менш різкою залежністю (Re_M).

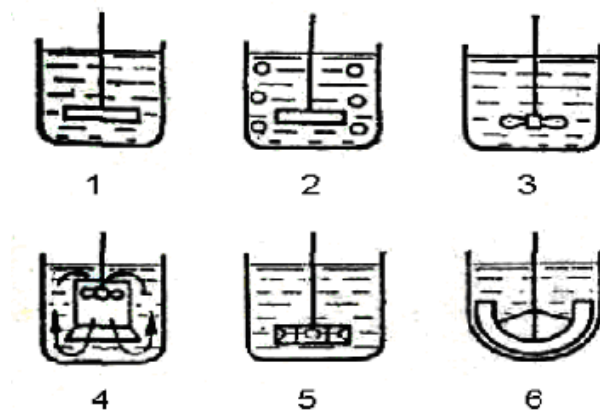


Рис. 6.1 Типи мішалок

2. Практичне завдання.

2.1. Обрати один із типів апарату (мішалки) та показати доцільність використання цього апарату, як спосіб перемішування, на прикладі будь якого тех. процесу.

2.2. Для закріплення матеріалу розв'язати конкретні практичні завдання і відповіді на контрольні питання.

3. Завдання.

Визначити з якою частотою повинна обертатися пропелерна дволопатева мішалка діаметром d , м для інтенсивного перемішування рідини густиною ρ , кг/м³, і ззавданою в'язкістю, при витраті потужності N , кВт. Для цього виду мішалки постійні велечини C і K , відповідно, дорівнюють 0,985 і 0,15. Вихідні дані обрати залежно від варіанту з табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Величина	Одиниця виміру	Варіант				
		1	2	3	4	5
d	м	0,25	0,26	0,28	0,24	0,2
ρ	кг/м ³	1200	1300	1100	1250	1400
μ	Па*с	3	4	1,5	6	9
N	кВт	0,93	1,1	0,9	1,5	2,5

Для розв'язання завдання треба розглянути наступну критеріальну залежність, що характеризує рух рідини в апараті з мішалкою:

модифікованим критерієм Ейлера (Eu_m) або критерієм потужності (K_N)

$$Eu_m = c \cdot Re_m^k. \quad (6.1)$$

Критерій Ейлера для перемішування:

$$Eu_m = N / \rho \cdot n^3 \cdot d^5. \quad (6.2)$$

Критерій Рейнольдса для перемішування:

$$Re_{\mu} = \rho n d^2 / \mu \quad (6.3)$$

У цих виразах:

N – потужність на валу мішалки, Вт;

ρ – густина рідини, кг/м³;

n – частота обертання мішалки, с⁻¹;

d – діаметр мішалки, м;

μ – в'язкість рідини, Па с;

C і k – постійні величини, які визначаються експериментальним шляхом.

Потужність N_p , Вт, якої потребує мішалка у робочий період.

$$N_p = Eu_m \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho, \quad (6.4)$$

де d – діаметр мішалки, м;

n – частота обертання мішалки, с⁻¹;

ρ – густина рідини, кг/м³;

Кутова швидкість обертання мішалки:

$$\omega_0 = \pi d n,$$

4. Контрольні запитання.

1. За якими ознаками розрізняють неоднорідні системи?
2. Що називають визначальним розміром часток?
3. Для перемішування яких сумішей застосовують лопатеві мішалки?
4. Які мішалки обертаються з більшою частотою – лопатеві чи пропелерні.
5. Чим відрізняється від звичайної формула модифікованого критерію Рейнольдса для перемішування.
6. Поясніть формулу потужності для мішалки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7.

Дослідження та розрахунок процесу фільтрування технологічних середовищ

Мета роботи:

1. Ознайомитись з основними теоретичними положеннями процесу фільтрування.
2. Розв'язати згідно з варіантом завдання.

1. Основні теоретичні відомості.

Процесом фільтрування називають розділення суспензій за допомогою пористих або фільтрувальних перегородок, що затримують тверді частки, але пропускають суцільну фазу (рідину).

Фільтрування використовують для поділу суспензій на тверду (осад) і рідку (фільтрат) фази.

Під час руху рідини у порах осаду та фільтруючої перегородки необхідно утворити перепад тиску з боків фільтруючої перегородки, який є рушійною силою процесу. Цей перепад може бути утворений за рахунок розріджування (вакуум-фільтри) або тиску (фільтри під тиском) з одного боку фільтруючої перегородки.

Продуктивність фільтра залежить від режиму фільтрування (тиск, температура), характеру фільтруючої перегородки та фізико-хімічних властивостей суспензії та осаду.

Інтенсивність фільтрування і продуктивність фільтрів характеризується величиною швидкості фільтрування:

$$dv = \frac{dV}{S \cdot d\tau} = \frac{\Delta p}{\eta(R_{oc} + R_{\phi n})} \quad (7.1)$$

де v – швидкість фільтрування;

V – об'єм фільтрату, який проходить крізь одиницю поверхні фільтра за одиницю часу, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ с}$;

S – площа поверхні фільтруючої перегородки, м^2 ;

τ – тривалість фільтрування, с ;

ΔP – перепад тиску, $\text{Н}/\text{м}^2$;

η – в'язкість фільтрату, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

R_{oc} – опір шару осаду на перегородці, м^{-1} ;

$R_{\phi n}$ – опір фільтруючої перегородки, м^{-1} .

Опір шару осаду пропорційний його висоті:

$$R_{oc} = r_{oc} h_{oc} \quad (7.2)$$

де r_{oc} – питомий опір осаду (опір на 1 м^2 висоти шару осаду), м^{-2} ;
 h_{oc} – висота шару осаду, м.

Висота шару осаду змінюється у процесі фільтрування. Її можна виразити через об'єм отриманого фільтрату V і об'єм осаду, який утворюється під час проходження 1 м^3 фільтрату, таким чином:

$$h_{oc} = \frac{V \cdot X_{oc}}{S}, \quad (7.3)$$

де X_{oc} – об'єм осаду, який отримують під час проходження 1 м^3 фільтрату, м^3 .

Фільтрування може відбуватися при постійному тиску. При $\Delta p = \text{const}$ об'єм фільтра та V , що пройшов через 1 м^2 фільтруючої поверхні за час τ , і проміжок фільтрування τ пов'язані рівнянням

$$V^2 + 2CV = K\tau, \quad (7.4)$$

де C – константа фільтрування, яка характеризує гідравлічний опір фільтруючої перегородки (тканини) $\text{м}^3/\text{м}^2$; K – константа фільтрування, що враховує режим процесу фільтрування і фізико-хімічні властивості осаду і рідини, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – тривалість фільтрування, с.

2. Практичне завдання.

2.1. Обрати один із типів апарату для фільтрування та показати доцільність використання цього апарату, як спосіб фільтрування, на прикладі будь якого тех. процесу.

2.2. Для закріплення матеріалу розв'язати конкретні практичні завдання і відповісти на контрольні питання.

3. Завдання

Визначити тривалість процесу фільтрування рідини об'ємом V через 1 м^2 фільтру, якщо при попередньому випробовуванні фільтра з 1 м^2 було

зібрано фільтрату: 1 дм³ через t₁, хв, і 5 дм³ через t₂ хв після початку фільтрування. Данні для розрахунку див. у табл. 7.1.

Таблиця 7.1.

Величина	Одиниця виміру	Варіант				
		1	2	3	4	5
<i>V</i>	дм ³ ,	10	20	25	15	30
t ₁	хв,	2,25	4,5	6,75	2,5	7,25
t ₂	хв,	23,5	41,5	51,5	36,5	65,5

4. Контрольні запитання.

1. Наведіть порядок визначення констант *K* і *C* у рівнянні фільтрування.
2. Яким чином можливо визначити витрати суспензії при фільтруванні.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8.

Дослідження та розрахунок процесу сушіння.

Мета роботи:

1. Вивчити процес конвективного сушіння;
2. Розрахувати швидкість процесу сушіння.

1. Основні теоретичні відомості.

Сушінням називається процес видалення вологи з вологих матеріалів шляхом її випаровування в довкілля.

Конвективним сушінням називається процес сушіння за умови безпосередньої взаємодії матеріалу, який висушується, з сушильним агентом (нагрітим повітрям, тонковими газами, перегрітою парою).

Вологістю матеріалу (W) називається кількість вологи в матеріалі (кг), що припадає на 1 кг абсолютно сухих матеріалів. Вологість матеріалу W обчислюється за формулою

$$W = \frac{G_{\text{вол}}}{G_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (8.1)$$

де $G_{\text{вол}}$ – кількість вологи в матеріалі, кг;

$G_{\text{сух}}$ – маса абсолютно сухого матеріалу, кг.

Швидкістю сушіння (u) називається кількість вологи, що видаляється в одиницю часу з одиниці поверхні матеріалу:

$$u = \frac{W}{S \cdot \tau}. \quad (8.2)$$

Сушіння – процес дифузійний (масообмінний). Швидкість сушіння залежить від рушійної сили процесу. Рушійною силою процесу сушіння є різниця парціального тиску пари над поверхнею матеріалу P_m і парціального тиску пари в сушильному агентові P_n .

При контакті вологого повітря з матеріалом можуть протікати такі процеси:

- сушіння, коли $P_m > P_n$;
- зволоження, коли $P_m < P_n$;
- динамічна рівновага, коли $P_m = P_n$.

Швидкість сушіння та умови досягнення рівноваги багато в чому залежать від характеру зв'язку вологи з матеріалом. Професором Ребіндером було запропоновано таку класифікацію форм зв'язку вологи з матеріалом: хімічна, фізико-хімічна, фізико-механічна.

Кінетика сушіння характеризується двома основними залежностями: кривою сушіння (рис. 8.1) та кривою швидкості сушіння (рис. 8.2).

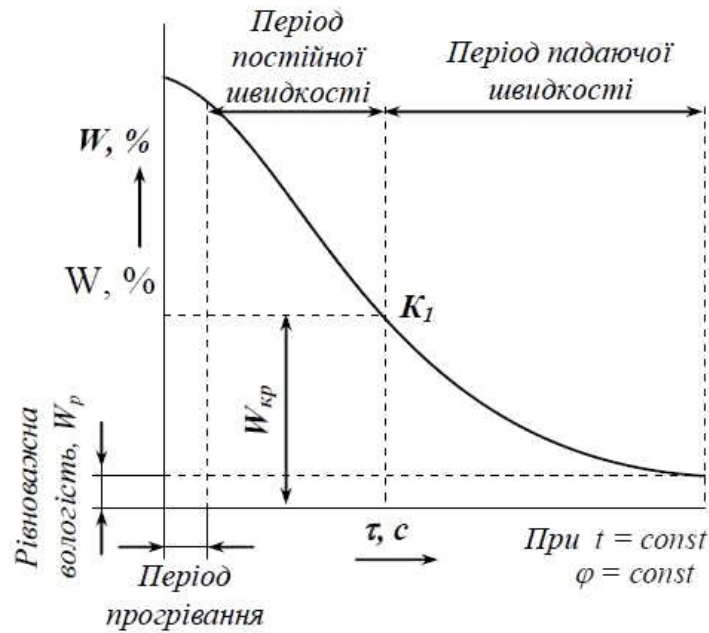


Рис. 8.1 – Крива сушіння

З наведеного графіку витікає, що весь процес сушіння можна поділити на три періоди: нагрівання матеріалу, постійної швидкості сушіння і падаючої швидкості сушіння. Перший етап називають періодом прогрівання матеріалу, на цій стадії видаляється лише незначна частина вологи. Для тонких матеріалів та тіл невеликих розмірів початкова стадія сушіння дуже мала і тому під час розрахунків не враховується.

Після періоду прогрівання вологість матеріалу змінюється за лінійним законом і, отже, швидкість сушіння, що являє собою зміну вологості за одиницю часу, буде постійною. У цей період кількість вологи, яка підводиться до поверхні матеріалу, з якої відбувається випаровування, відповідає кількості вологи, яка випаровується з поверхні. Період постійної швидкості сушіння триває до певного значення, що називається першою критичною вологістю (точка K_1 на рис. 8.1). У цей період сушіння видаляється вільна волога, що міститься в мікрокапілярах, та волога змочування, і частково волога внутрішніх шарів.

Після критичної точки K_1 іде третій період, під час якого швидкість сушіння падає, асиметрично наближаючись до нульового значення, відповідного рівноважній вологості. У періоді падаючої швидкості сушіння до поверхні матеріалу підводиться менше води, ніж може випаруватися, бо починає видалятися більш міцно зв'язана вода (адсорбційна і осмотична). Поверхня матеріалу покривається скоринкою, що перешкоджає підведенню води до поверхні.

Для аналізу сушильного процесу служить також крива швидкості сушіння, побудована способом графічного або аналітичного диференціювання кривої сушіння.

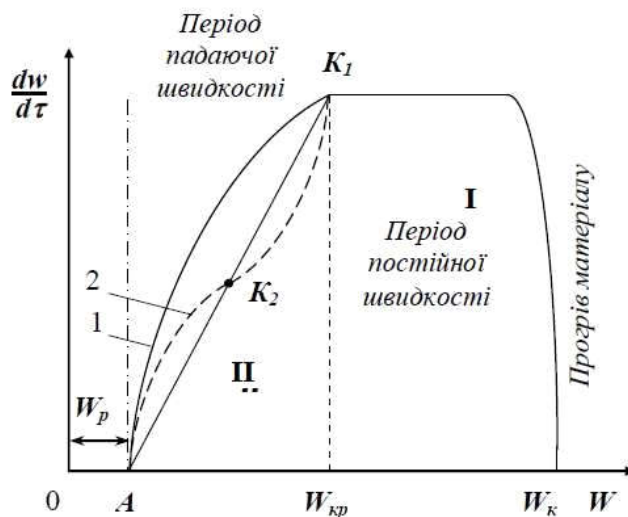


Рис. 8.2 – Криві швидкості сушіння

Криву швидкості сушіння будують у координатах: по горизонталі – відсотковий вміст води у матеріалі, а по вертикалі – величину похідної $d\omega/d\tau$ (Рис. 8.2). Крива швидкості сушіння свідчить про те, що у періоді прогрівання матеріалу швидкість сушіння дуже зростає (вертикальна пряма). Досягнувши максимального значення, швидкість сушіння залишається деякий час постійною (періоду постійної швидкості відповідає горизонтальна пряма лінія), а далі після першої критичної точки K_1 швидкість поступово знижується до нуля (точка A). Вологість продуктів при цьому досягає рівноважного значення. Крива швидкості у періоді падаючої швидкості сушіння різноманітних матеріалів має різну форму, що залежить від виду

зв'язку вологи з продуктом. Так, колоїдні матеріали (наприклад, крохмаль, желатин, макарони), що утримують велику кількість осмотичної та адсорбційної вологи, у цьому періоді сушіння дадуть криву 1. Колоїдні капілярнопористі продукти (хліб, зерно), в яких переважає адсорбційно зв'язана волога, мають точку перегину на цій ділянці кривої, що називається другою критичною точкою K_2 . Ця точка (на кривій 2) відповідає тій вологості, за якої змінюється характер переміщення вологи в матеріалі. Часто точка K_2 відповідає початку вилучення з продукту адсорбційної вологи.

Розрізняють два основних види сушіння: природне та штучне. Природне сушіння проводять на відкритому повітрі без додаткового нагрівання. Цим способом сушать тютюн, рибу, сіль, зерно, овочі, плоди та іншу рослинну сировину. Штучне сушіння здійснюється в спеціальних сушильних установках із підведенням теплової енергії. Розрізняють основні способи штучного сушіння – контактний, конвективний, і спеціальні – радіаційний, діелектричний і сублімаційний.

Під час контактного або кондуктивного сушіння теплота до продукту передається від теплоносія (повітря, димових газів або водяної пари) або будь-якого іншого джерела через стінку, що їх розділяє. Контактним способом сушать молоко, дріжджі, картопляне пюре, агар, пастоподібні овочеві та фруктові продукти.

Конвективне сушіння протікає під час безпосереднього стикання нагрітого сушильного агента з вологим матеріалом. Цим способом, найбільш розповсюдженим у сушильній техніці, сушать хлібні та макаронні вироби, цукор, овочі, плоди, кондитерські вироби (мармелад, пастилу).

Радіаційне сушіння здійснюється шляхом опромінення продукту інфрачервоним промінням. Особливістю сушіння вологого продукту за допомогою теплових інфрачервоних променів є швидке його прогрівання, в той час, як повітря в просторі між ІЧ-випромінювачами і матеріалом майже не нагрівається.

Під час діелектричного сушіння продукт нагрівається в полі струмів високої та надвисокої частот.

Сублімаційне сушіння є вилучення вологи з матеріалу шляхом перетворення її у лід, а після цього, проминувши рідку фазу – у водяну пару.

Тривалість процесу сушіння визначають за такою формулою:

$$\tau = \frac{m_c}{G_c}, \quad (8.3)$$

де $m_c = \frac{F}{f}$ – маса абсолютно сухого матеріалу в сушильній камері, кг;

F – загальна поверхня матеріалу в сушарці, м²;

f – питома поверхня матеріалу, $\frac{\text{м}^2}{\text{кг сух. мат.}}$;

G_c – витрата абсолютно сухого матеріалу, що подається на сушіння, кг/с.

2. Практичне завдання.

2.1. Обрати один із типів апарату для процесу конвективного сушіння та показати доцільність використання цього апарату, як спосіб видалення вологи з вологих матеріалів шляхом її випаровування у довкілля, на прикладі будь якого технологічного процесу.

2.2. Для закріплення матеріалу розв'язати конкретне практичне завдання і відповісти на контрольні питання.

Завдання

Визначити тривалість процесу сушіння матеріалу, який має питому поверхню $f = 0,05$ кг/сух.мат. м². Витрата абсолютно сухого матеріалу $G_c = 0,5$ кг/с. Необхідна поверхня матеріалу в першому і другому періодах $F = 430,6$ м². Данні для розрахунку див. у табл. 8.1.

Таблиця 8.1.

Величина	Одиниця виміру	Варіант				
		1	2	3	4	5
f	кг/сух.мат. м ²	0,05	0,03	0,045	0,025	0,04
G _c	кг/с	0,5	0,45	0,55	0,5	0,4
F	м ²	430	480	400	350	450

3. Контрольні питання.

1. Які способи сушіння ви знаєте?
2. Назвіть три форми зв'язку вологи з матеріалом. Яка волога відокремлюється в процесі сушіння?
3. Чому найпоширеніший процес називають конвективним сушінням?
4. Які існують форми зв'язку вологи з матеріалом?
5. Що являє собою крива сушіння та крива швидкості сушіння.

Література

1. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв-2. Лабораторний практикум : навчальний посібник для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» освітньої програми «Біотехнології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : Л. І. Ружинська, М. В. Шафаренко, О. В. Воробйова. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 66 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35989>
2. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв : навч. посібник у 3 ч. Львів, Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2017. 240 с.
3. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник [для вищ. навч. закл.] / М. В. Стасевич та ін. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 410 с.
4. Процеси і апарати харчових виробництв: приклади і задачі : навч. посіб. / І.Ф. Малежик та ін.; за ред. І.Ф.Малежика ; Нац. ун-т харч. технолог. Київ : НУХТ, 2018. 386 с.
5. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібник для студ. вищ. навч. заклад. / М. В. Стасевич та ін. ; за ред. В. П. Новікова. Вінниця : Нова Книга, 2017. 408 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник за ред. проф. І. Ф. Малежика. Київ : НУХТ, 2013.
7. Коновалова С. О., Авдєєнко А. П. Теплотехніка та теплоенергетика. Частина 1. Теплотехніка : курс лекцій. Краматорськ : ДДМА, 2019. 300 с.
8. Миронов О. С., Брижа М. Р., Бойко В. Б., Золотовська О. В. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну,

використання тепла в сільському господарстві : навчальний посібник
Дніпропетровськ : ТОВ "ЕНЕМ", 2017. 424 с.

Навчальне видання

Процеси і апарати біотехнологічних виробництв:
методичні рекомендації

Укладачі: **Сидорика** Ігор Миколайович
Садовий Олексій Степанович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,5.
Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.