

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, В.В. Перекрест

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ
ДИСЦИПЛІНИ**

Процеси та апарати харчових виробництв

Ступінь: бакалавр

Кривий Ріг
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

О.В. Омельченко, В.В. Перекрест

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Процеси та апарати харчових виробництв

Ступінь: бакалавр

Затверджено на засіданні
кафедри загальноінженерних дисциплін
та обладнання
Протокол № 7
від «20» грудня 2021 р.

Схвалено навчально-методичною радою
ДонНУЕТ
Протокол № 7
від «21 » січня 2022 р

Кривий Ріг
2021

Омельченко О.В., Перекрест В.В.

О 46 Процеси та апарати харчових виробництв : метод. рекомендації до вивч. дисц. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання; О.В. Омельченко, В.В. Перекрест. – Кривий Ріг : [ДонНУЕТ], 2021. – 106 с.

Методичні рекомендації розроблені для надання допомоги студентам у процесі вивчення дисципліни «Процеси та апарати харчових виробництв». Методичні рекомендації містять перелік питань для підготовки до підсумкового контролю та перелік основної та додаткової літератури.

© Омельченко О.В., Перекрест В.В., 2021

© Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»	6
ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	14
Змістовий модуль 1. Теплові процеси	15
Змістовий модуль 2. Масообмінні процеси	31
Змістовий модуль 3. Гідромеханічні процеси	42
Змістовий модуль 4. Механічні процеси	49
ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ	60
Змістовий модуль 1. Теплові та масообмінні процеси	61
Змістовий модуль 2. Механічні та гідромеханічні процеси	76
Змістовий модуль 3. Гідромеханічні процеси	84
Змістовий модуль 4. Механічні процеси	94

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування у здобувачів ВО професійних компетентностей пов'язаних з виробничо-технологічною діяльністю на харчових виробництвах; здобуття практичних навичок у процесі розв'язування інженерних завдань.

Головне завдання навчальної дисципліни полягає в ознайомленні здобувачів ВО з основними принципам організації проведення процесів харчових виробництв, їх закономірностями та з апаратурним оформленням процесів; навчити обґрунтовувати пропозиції з удосконалення технологічних процесів та апаратів

Предмет: процеси в харчовій промисловості та їх реалізація.

ЧАСТИНА 1.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна	Обов'язкова для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
Семестр (осінній / весняний)	весняний/ осінній
Кількість кредитів	5/5
Загальна кількість годин	150/150
Кількість змістових модулів	4
Лекції, годин	48/42
Практичні / семінарські, годин	32/28
Лабораторні, годин	-
Самостійна робота, годин	70/80
Тижневих годин для денної форми навчання:	
аудиторних	5/5
самостійної роботи студента	4,3/5,7
Вид контролю	залік/екзамен

2. Програма дисципліни

Мета вивчення дисципліни полягає у формуванні у здобувачів ВО професійних компетентностей пов'язаних з виробничо-технологічною діяльністю на харчових виробництвах; здобуття практичних навичок у процесі розв'язування інженерних завдань.

Завдання дисципліни полягає в теоретичній і практичній підготовці здобувачів ВО основними принципам організації проведення процесів харчових виробництв, їх закономірностями та з апаратурним оформленням процесів; навчити обґрунтовувати пропозиції з удосконалення технологічних процесів та апаратів.

Предмет: процеси в харчовій промисловості та їх реалізація.

Зміст дисципліни розкривається в темах:

1. Загальні принципи аналізу і розрахунку процесів і апаратів. Основи конструювання апаратів
2. Моделювання процесів і апаратів. Критерії подібності
3. Основи теорії теплових процесів. Нагрівання. Випаровування. Кипіння
4. Охолодження: основи процесу
5. Теплообмінні апарати: класифікація, конструктивне оформлення, розрахунок
6. Випарування: теорія процесу, конструкції випарних апаратів
7. Конденсація: типові конструкції конденсаторів та основи розрахунку
8. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів: індукційний нагрів
9. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів: інфрачервоний нагрів

10. Теоретичні основи масообмінних процесів
11. Сорбційні процеси: адсорбція та абсорбція
12. Екстрагування: основи процесу, конструкції апаратів.
13. Динаміка та кінетика сушіння.
14. Сушильні установки: конструкції та особливості застосування
15. Основи процесу ректифікації. Ректифікаційні колони
16. Процеси кристалізації. Апаратурне оформлення.
17. Сутність процесу розчинення.
18. Гідростатика та гідродинаміка
19. Гідравлічні машини
20. Методи оцінки та отримання дисперсних систем
21. Перемішування та диспергування
22. Псевдозрідження та піноутворення
23. Процеси розділення дисперсних систем: центрифугування
24. Процеси розділення дисперсних систем: фільтрування
25. Процеси розділення дисперсних систем: осадження
26. Теоретичні основи механічних процесів.
27. Процеси подрібнення: основи теорії подрібнення та класифікація процесів подрібнення
28. Основи теорії різання.
29. Змішування та поділ сипких матеріалів
30. Процеси пресування
31. Біохімічні процеси: сутність та сфери застосування
32. Ферменти та ферментні препарати

Опанування дисципліни дозволяє забезпечити:

1) формування:

- загальних програмних компетентностей:

здатність до абстрактного мислення;

здатність генерувати нові ідеї (креативність);

здатність проведення досліджень на певному рівні.

- фахових програмних компетентностей:

здатність застосовувати типові аналітичні методи та комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування, ефективні кількісні методи математики, фізики, інженерних наук, а також відповідне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування;

здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язування професійних задач і практичних проблем галузевого машинобудування;

здатність втілювати інженерні розробки у галузевому машинобудуванні з урахуванням технічних, організаційних, правових, економічних та екологічних аспектів за усім життєвим циклом машини: від проектування, конструювання, експлуатації, підтримання працездатності, діагностики та утилізації.

2) досягнення програмних результатів навчання:

здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у галузевому машинобудуванні;

аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи;

готувати виробництво та експлуатувати вироби, застосовуючи автоматичні системи підтримування життєвого циклу;

обирати і застосовувати потрібне обладнання, інструменти та методи;

застосовувати засоби технічного контролю для оцінювання параметрів об'єктів і процесів у галузевому машинобудуванні.

3) набуття результатів навчання (згідно Дублінських дескрипторів):

- **знання:** основн технологічного обладнання переробних і харчових виробництв; теорію його робочих процесів, класифікацію, будову, особливості експлуатації, основи проектування, шляхи і перспективи його вдосконалення.

- **уміння/навички:** оцінювати технічний стан технологічного обладнання та розробляти необхідну нормативно-технічну документацію; проектувати та конструювати технологічне обладнання; аналізувати шляхи розробки конструкцій нового обладнання і бачити перспективні напрямки його вдосконалення. мати навички: з експлуатації та конструювання технологічного обладнання, організації монтажу, наладки і ремонту його; з техніки безпеки та промислової санітарії.

3. Структура дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма навчання)				
	усього	у тому числі			
		лекц.	пр./сем.	лаб.	СРС
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 1. Теплові процеси					
Тема 1. Загальні принципи аналізу і розрахунку процесів і апаратів. Основи конструювання апаратів	6	2		-	4
Тема 2. Моделювання процесів і апаратів. Критерії подібності	12	4	4	-	4
Тема 3. Основи теорії теплових процесів. Нагрівання. Випаровування. Кипіння	6	2	-	-	4
Тема 4. Охолодження: основи процесу	10	2	4	-	4
Тема 5. Теплообмінні апарати: класифікація, конструктивне оформлення, розрахунок	12	4	4	-	4
Тема 6. Випарювання: теорія процесу, конструкції випарних апаратів	10	2	4	-	4
Тема 7. Конденсація: типові конструкції конденсаторів та основи розрахунку	12	4	4	-	4

Разом за змістовим модулем 1	68	20	20		28
Змістовий модуль 2. Масообмінні процеси					
Тема 8. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів: індукційний нагрів	6	2	-	-	4
Тема 9. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів: інфрачервоний нагрів	11	2	4	-	5
Тема 10. Теоретичні основи масообмінних процесів	6	2	-	-	4
Тема 11. Сорбційні процеси: адсорбція та абсорбція	6	2	-	-	4
Тема 12. Екстрагування: основи процесу, конструкції апаратів	8	4	-	-	4
Тема 13. Динаміка та кінетика сушіння	11	2	4	-	5
Тема 14. Сушильні установки: конструкції та особливості застосування	12	4	4	-	4
Тема 15. Основи процесу ректифікації. Ректифікаційні колони	8	4	-	-	4
Тема 16. Процес кристалізації. Апаратурне оформлення	8	4	-	-	4
Тема 17. Сутність процесу розчинення	6	2	-	-	4
Разом за змістовим модулем 2	82	28	12	-	42
Усього модуль 1	150	48	32	-	70
Модуль 2					
Змістовий модуль 3. Гідромеханічні процеси					
Тема 18. Гідростатика та гідродинаміка	10	4	4	-	6
Тема 19. Гідравлічні машини	10	2	-	-	6
Тема 20. Методи оцінки та отримання дисперсних систем	10	2	-	-	6
Тема 21. Перемішування та диспергування	10	4	4	-	6
Тема 22. Псевдозрідження та піноутворення	12	4	-	-	6
Тема 23. Процеси розділення дисперсних систем: центрифугування	10	4	4	-	6
Тема 24. Процеси розділення дисперсних систем: фільтрування	10	2	-	-	6
Тема 25. Процеси розділення дисперсних систем: осадження	10	2	-	-	6
Разом за змістовим модулем 3	84	24	12	-	44
Змістовий модуль 4. Механічні процеси					
Тема 26. Теоретичні основи механічних процесів	10	2	-	-	6
Тема 27. Процес подрібнення: основи теорії подрібнення та класифікація процесів подрібнення	10	2	4	-	6

Тема 28. Основи теорії різання	12	4	-	-	6
Тема 29. Змішування та поділ сипких матеріалів	10	2	4	-	6
Тема 30. Процес пресування	10	2	4	-	6
Тема 31. Біохімічні процеси: сутність та сфери застосування	12	4	4	-	6
Тема 32. Ферменти та ферментні препарати	10	2	-	-	6
Разом за змістовим модулем 4	66	18	16	-	36
Усього модуль 2	150	42	28	-	80
Усього годин	300	90	60	-	150

4. Теми семінарських/практичних/лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1		
1	Практичне заняття 1. Основи конструювання апаратів. Основи теорії подібності..	4
2	Практичне заняття 2. Холодильні машини та агрегати в харчовій промисловості.	4
3	Практичне заняття 3. Теплообмінні апарати.	4
4	Практичне заняття 4. Процес випарювання.	4
5	Практичне заняття 5. Процес перегонки.	4
6	Практичне заняття 6. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів.	4
7	Практичне заняття 7. Дослідження основних характеристик газових пальників та їх розрахунок.	4
8	Практичне заняття 8. Процес сушіння.	4
Разом модуль 1		32
Модуль 2		
9	Практичне заняття 9. Основні рівняння гідродинаміки.	4
10	Практичне заняття 10. Процес змішування.	4
11	Практичне заняття 11. Розділення неоднорідних систем.	4
12	Практичне заняття 12. Подрібнювально-різальне обладнання.	4
13	Практичне заняття 13. Процес сорбції.	4
14	Практичне заняття 14. Екстракція.	4
15	Практичне заняття 15. Біохімічні процеси.	4
Разом модуль 2		28
Всього		60

5. Розподіл балів, які отримують студенти

Відповідно до системи оцінювання знань студентів ДонНУЕТ, рівень сформованості компетентностей студента оцінюються:

- у випадку проведення заліку впродовж семестру (100 балів);
- у випадку проведення екзамену впродовж семестру (50 балів) та при проведенні підсумкового контролю – екзамену (50 балів).

**Оцінювання студентів протягом семестру
(очна форма навчання)**

№ теми практичного заняття	Аудиторна робота				Позааудиторна робота	Сума балів
	Тестові завдання	Ситуаційні завдання, задачі	Обговорення теоретичних питань теми	ПМК	Завдання для самостійного виконання	
Модуль 1						
Змістовий модуль 1						
Тема 1			2			2
Тема 1		2	2		4	8
Тема 2			2			2
Тема 2		2	2		4	8
Тема 3			2			2
Тема 3		2	2		4	8
Тема 4			2			2
Тема 4		2	2		4	8
Тема 5			2			2
Тема 5		2	2	10	4	18
Разом за змістовим модулем 1		10	20	10	20	60
Змістовий модуль 2						
Тема 6			2			2
Тема 6		2	2		4	8
Тема 7			2			2
Тема 7		2	2		4	8
Тема 8			2			2
Тема 8		2	2	10	4	18
Разом за змістовим модулем 2		6	12	10	12	40
Усього годин модуль 1		16	32	20	32	100
Модуль 2						
Змістовий модуль 3						
Тема 9			1			1
Тема 9		2			2	4
Тема 10			1			1
Тема 10		2			2	4
Тема 11			1			1
Тема 11		2		7	2	11
Разом за змістовим модулем 3		6	3	7	6	22
Змістовий модуль 4						
Тема 12			1			1
Тема 12		2			2	4

Тема 13			1			1
Тема 13		2			2	4
Тема 14			1			1
Тема 14		2			2	4
Тема 15			1			1
Тема 15		2		8	2	12
Разом за змістовим модулем 4		8	4	8	8	28
Усього годин модуль 2		14	7	15	14	50

**Оцінювання студентів протягом семестру
(заочна форма навчання)**

Модуль 1					
Поточне тестування та самостійна робота				Сума в балах	
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Індивідуальне завдання			
40	40	20		100	
Модуль 2					
Поточне тестування та самостійна робота				Підсумковий тест (екзамен)	Сума в балах
Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4	Індивідуальне завдання			
15	15	20		50	100

Загальне оцінювання результатів вивчення навчальної дисципліни

Оцінка		
100-бальна шкала	Шкала ECTS	Національна шкала
90-100	A	5, «відмінно»
80-89	B	4, «добре»
75-79	C	
70-74	D	3, «задовільно»
60-69	E	
35-59	FX	2, «незадовільно»
0-34	F	

**ЧАСТИНА 2.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ.

Тема 1. Основи конструювання апаратів. Основи теорії подібності.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Основний критерій оптимальності конструкції.
2. Оцінка якості машини
3. Пі-теорема.
4. Співвідношення між теорією подібності та аналізом розмірностей.
5. Критерії подібності
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. При випробуванні на воді моделі насадка, вихідний діаметр якого $d_m = 30$ мм, під статичним натиском $H_m = 50$ м отримані витрати $Q_m = 18$ л/сек середня швидкість в стисненому перерізі струменя $w_m = 30$ м/с. Який має бути вихідний діаметр і насадка в натурі та під яким напором H він повинен працювати на воді, щоб отримати $Q = 100$ л/с та $w = 60$ м/с? Вважати, що випробування моделі зроблено в зоні турбулентної автомодельності, тому коефіцієнти закінчення для моделі та природи однакові (табл. 1.1).

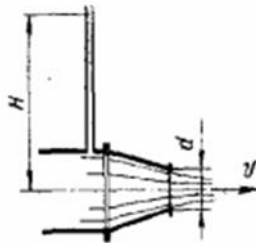


Рисунок 1.1. Схема установки

Таблиця 1.1

№ вар.	d_m , мм	H_m , м	Q_m , л/сек	w_m , м/с
1	25	45	15	25
2	26	50	10	20
3	27	40	20	30
4	30	55	25	35
5	32	50	10	30
6	26	50	10	20
7	25	45	15	25
8	26	50	10	20
9	27	40	20	30
10	26	50	10	35

Розв'язання

Витрата через отвір дорівнює

$$Q = S \times \mu \sqrt{2 \times g \times H} = w \times Sw = \mu \sqrt{2g \times H}$$

Коефіцієнт витрати

$$\mu = \frac{w}{\sqrt{2 \times g \times H}} = \frac{30}{\sqrt{2 \times 9,8 \times 50}} = 0,958$$

Тоді при швидкості струменя $w = 60$ м/с тиск складе

$$H = \frac{w^2}{\mu^2 \times 2 \times g} = \frac{(60)^2}{(0,958)^2 \times 2 \times 9,8} \approx 200 \text{ м}$$

Вихідний діаметр насадка

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{w \times \pi}} = 0,05 \text{ м} \cdot \sqrt{\frac{4 \times 100 \times 10^{-3}}{60 \times 3,14}} = 0,046 \text{ м}$$

Задача 2. Тонка пластина довжиною $l_0 = 2$ м та шириною $a = 1,5$ м обтікається поздовжнім потоком повітря. Швидкість і температура потоку, що набігає, рівні відповідно $w_0 = 3$ м/с; $t_0 = 20$ °С. Температура поверхні пластини дорівнює $t_c = 90$ °С. Визначити середній за довжиною коефіцієнт тепловіддачі та кількість тепла, що віддається пластиною повітря (табл. 1.2).

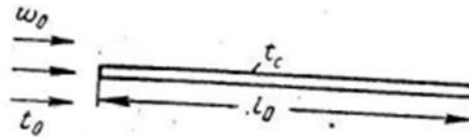


Рисунок 1. 2. Схема обтікання пластини повітрям.

Таблиця 1.2

№ вар.	l_0 , м	a , м	w_0 , м/с	t_0 , °С	t_c , °С
1	1,5	1,0	2	18	88
2	2	1,3	2,5	19	89
3	2,5	1,5	3	20	90
4	1,0	1,7	4	21	92
5	2	1,0	5	25	85
6	1,5	1,0	2	19	89
7	2	1,3	2,5	20	90
8	2,5	1,5	3	21	92
9	1,0	1,7	4	18	88
10	2	1,0	5	19	89

Розв'язання

Для повітря при $t_0 \approx 20$ °С та $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 2,23 \cdot 10^{-2}$ ккал/(м год · град); $Pr = 0,703$, звідки

$$Re = \frac{w_0 \times l_0}{\nu} = \frac{3 \times 2}{15,06 \times 10^{-6}} = 3,98 \times 10^5$$

У цих умовах середня за довжиною тепловіддача може бути розрахована за формулою:

$$\text{де } Nu = 0,67 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}$$

$$Nu = \frac{a \times l_0}{\lambda}; Re = \frac{\omega_0 \times l_0}{\nu}$$

та фізичні параметри вибираються при температурі t_0 . У цьому випадку $Nu = 0,67 (3,98 \cdot 10^5)^{1/2} (0,703)^{1/3} = 375$

та коефіцієнт тепловіддачі:

$$a = Nu \frac{\lambda}{l_0} = 375 \frac{2,23 \times 10^{-2}}{2} = 4,18 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \text{ год град}).$$

Кількість тепла, що передається, з обох боків пластини

$$Q = \alpha (t_c - t_0) F = 4,18 (90 - 20) 3 = 1760 \text{ ккал/год.}$$

Тема 2. Холодильні машини та агрегати в харчовій промисловості.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Способи охолодження.
2. Штучне охолодження.
3. Способи заморожування
4. Апарати для охолодження і заморожування
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Визначити холодильний і ексергетичний ККД, потужності компресора і детандера повітряної холодильної машини (рис.2. 1), якщо відомо: витрата повітря $V=7200 \text{ м}^3/\text{год.}$; параметри навколишнього середовища $B=755 \text{ мм.рт.ст.}$; $\nu_{\text{НС}}=0,833 \text{ м}^3/\text{кг}$; температура повітря в холодильній камері $t_n = -13^\circ\text{C}$; величина недогріву в холодильній камері та газоохолоднику $\theta = 5^\circ\text{C}$; холодовидатність $Q_o = 120 \text{ кВт}$; ККД компресора і детандера 0,84 і 0,86, відповідно (табл. 2.1)

Таблиця 2. 1

№, Вар.	V, м ³ /год.	B, мм.рт.ст.	$\nu_{\text{НС}}$, м ³ /кг	t_n , °C	Q_o , кВт	θ , °C
1	7000	685	0,8	-15	100	4
2	7300	700	0,825	-18	110	5
3	7500	725	0,83	-15	115	6
4	8000	750	0,815	-21	120	5
5	7300	715	0,835	-18	125	4
6	7500	725	0,8	-15	100	4
7	8000	750	0,825	-18	110	5
8	7300	715	0,83	-15	115	6
9	7000	685	0,815	-21	120	5
10	7300	700	0,835	-18	125	4

Розв'язування

Атмосферний тиск, кПа

$$P_{\text{нс}} = (B/750) 100 = (755/750) 100 = 101.$$

Температура навколишнього повітря, К

$$T_{\text{нс}} = P_{\text{нс}} v_{\text{нс}}/R = 101 \cdot 0,833/0,287 = 290.$$

Масова витрата повітря, кг/с

$$G = V/(v_{\text{нс}} \cdot 3600) = 7200 / (0,833 \cdot 3600) = 2,4.$$

Питома холодовидатність, кДж/кг

$$q_o = Q/(G C_p) = 120/(2,4 \cdot 1) = 50.$$

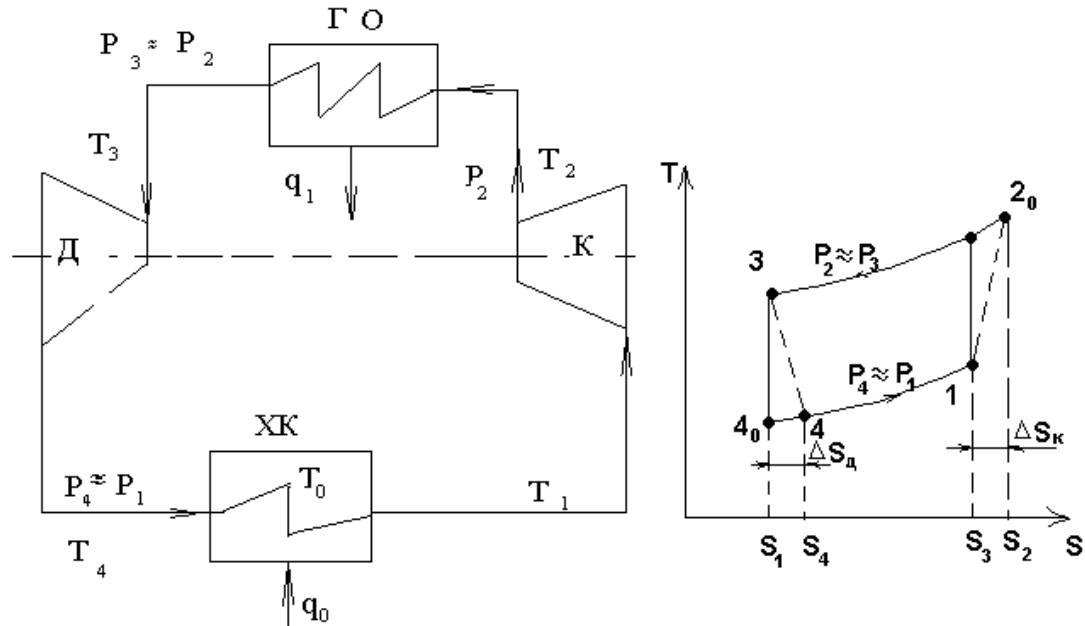


Рисунок 2.1 – Схема і цикл повітряної холодильної машини на T-S діаграмі: ХК – холодильна камера; К – компресор; ГО – газоохолодник; Д - детандер.

Температури повітря на виході з газоохолодника і холодильної камери відповідно, К

$$T_3 = T_{\text{нс}} + \theta = 290 + 5 = 295$$

$$T_1 = T_o - \theta = 260 - 5 = 255.$$

Температура повітря на виході з детандера, К

$$T_4 = T_1 - q_o/C_p = 255 - 50/1 = 205.$$

Питома робота в детандері, кДж/кг

$$l_d = C_p(T_3 - T_4) = 1 (295 - 205) = 90.$$

Міра зменшення тиску в детандері

$$\lambda = (T_3/T_4)^{k/(k-1)} = (295/205)^{1,4/(1,4-1)} = 3,57.$$

Температура повітря за компресором, К

$$T_2 = T_1 [1 + (\lambda^{(k-1)/k} - 1)/\eta_k] = 255 [1 + (3,57^{(1,4-1)/1,4})/0,84] = 388.$$

Питома робота компресора, кДж/кг

$$l_k = C_p (T_2 - T_1) = 1 (388 - 255) = 133.$$

Потужність детандера і компресора, кВт

$$N_d = G l_d = 2,4 \cdot 90 = 216$$

$$N_k = G l_k = 2,4 \cdot 133 = 319.$$

Питома робота циклу, кДж/кг

$$l_{ц} = l_{к} - l_{д} = 133 - 90 = 43.$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = q_o / l_{ц} = 50 / 43 = 1,163.$$

Питома теплота, яка відведена в газоохолоднику. КДж/кг

$$q_1 = q_o + l_{ц} = 50 + 43 = 93.$$

Питома ексергія підведеної теплоти, кДж/кг

$$e_{xqo} = q_o (T_{нс} / T_o - 1) = 50 (290 / 260 - 1) = 5,77.$$

Ексергетичний ККД холодильної машини

$$\eta_e = e_{xqo} / l_{ц} = 5,77 / 43 = 0,134.$$

Задача 2. Визначити потужність компресора, холодильний коефіцієнт, ексергетичні втрати і ексергетичний ККД холодильної машини, робочим тілом якої є хладон R12, якщо холодовидатність $Q_o = 214$ кВт; температура в холодильній камері $t_x = -25^\circ\text{C}$; температура навколишнього середовища $t_n = 25^\circ\text{C}$; величина недогріву в конденсаторі та випарнику $\theta = 5^\circ\text{C}$; ефективний ККД компресора $\eta = 0,8$ (рис. 2. 2).

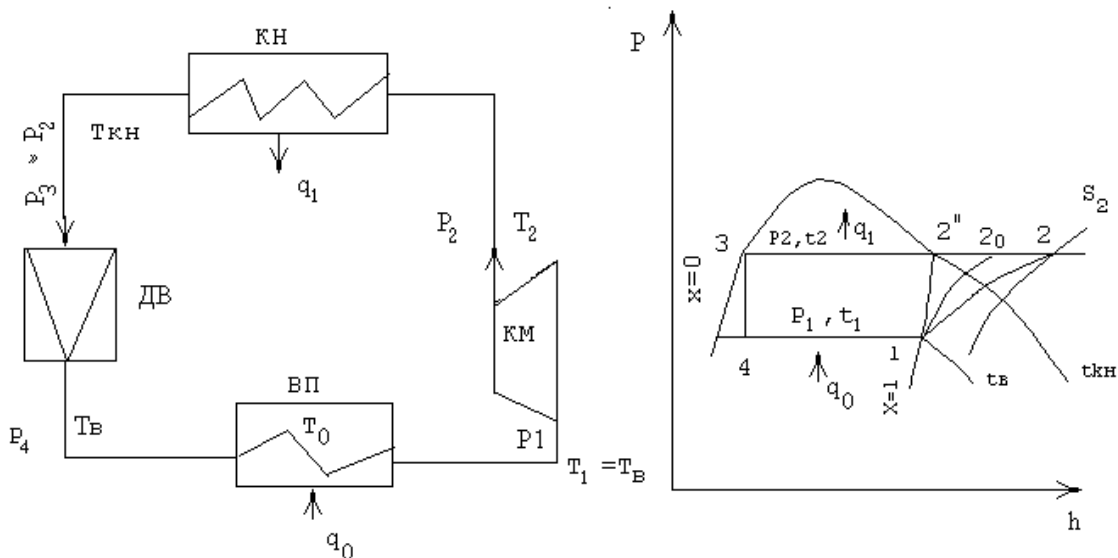


Рисунок 2.2 – Схема парокомпресійної холодильної машини та її цикл на P-h діаграмі: КМ – компресор; ВП – випарник; ДВ – дросельний вентиль; КН – конденсатор.

Розв'язування

Температура випаровування і конденсації відповідно, $^\circ\text{C}$

$$t_{в} = t_o - \theta = -25 - 5 = -30.$$

$$t_{кн} = t_{нс} + \theta = 25 + 5 = 30$$

Будуємо цикл холодильної машини на P-h діаграмі. На перетині ізотерм $t_{в}$ і $t_{кн}$ з лінією $x = 1$ визначаємо точки 1 і 2''. Точку 3 визначаємо на перетині ізобари (ізотерми $t_{кн}$) з лінією $x = 0$. Точку 4 визначаємо на перетині ізобари (ізотерми $t_{в}$) з ізентальпією h_4 . Точку 2_о, яка характеризує стан робочого тіла після стиску в теоретичному (адіабатному) компресорі визначаємо на перетині ізобари P_2 з ізентропою S_1 . Запишемо параметри в характерних точках циклу:

$$P_1 = 950 \text{ кПа}; \quad h_1 = 537 \text{ кДж/кг}; \quad S_1 = 4,48 \text{ кДж/(кг К)};$$

$$\begin{aligned}
 P_2 = 0,75 \text{ МПа}; & \quad h_{2o} = 575 \text{ кДж/кг}; & \quad S_{2o} = 4,48 \text{ кДж/(кг К)}; \\
 P_3 = 0,75 \text{ МПа}; & \quad h_3 = 430 \text{ кДж/кг}; & \quad S_3 = 4,1 \text{ кДж/(кг К)}; \\
 P_4 = 950 \text{ кПа}; & \quad h_4 = 430 \text{ кДж/кг}; & \quad S_4 = 4,125 \text{ кДж/(кг К)}.
 \end{aligned}$$

Питома робота компресора, кДж/кг

$$\ell_{\text{км}} = (h_{2o} - h_1) / \eta_{\text{кн}} = (575 - 537) / 0,8 = 47,5.$$

Ентальпія пари за компресором, кДж/кг

$$h_2 = h_1 + \ell_{\text{км}} = 537 + 47,5 = 584,5.$$

Точку 2 визначаємо на перетині ізобари P_2 з ізоентальпою h_2 . Ентропія в точці 2:

$$S_2 = 4,51 \text{ кДж/(кг К)}.$$

Питома холодовидатність машини, кДж/кг

$$q_o = h_1 - h_4 = 537 - 430 = 107.$$

Масова витрата холодоагента, кг/с

$$G = Q_o / q_o = 214 / 107 = 2.$$

Потужність компресора, кВт

$$N_{\text{км}} = G \ell_{\text{км}} = 2 \cdot 47,5 = 95.$$

Питома теплота, що відводиться з конденсатора

$$q_1 = h_2 - h_3 = q_o + \ell_{\text{км}} = 107 + 47,5 = 154,5.$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = q_o / \ell_{\text{км}} = 107 / 47,5 = 2,25.$$

Ексергетичний ККД циклу холодильної машини

$$\eta_e = (T_{\text{нс}} / T_{\text{в}} - 1) \varepsilon = (298 / 243 - 1) 2,25 = 0,509.$$

Питомі втрати ексергії, кДж/кг:

в компресорі

$$\Delta e_{\text{хкм}}^{\text{см}} = T_{\text{нс}} (S_2 - S_1) = 298 (4,51 - 4,48) = 8,94;$$

в конденсаторі

$$\Delta e_{\text{хкн}}^{\text{см}} = q_1 - T_{\text{нс}} (S_2 - S_3) = 154,5 - 298 (4,51 - 4,1) = 5,6;$$

в процесі дроселювання

$$\Delta e_{\text{хдр}}^{\text{см}} = T_{\text{нс}} (S_4 - S_3) = 298 (4,125 - 4,1) = 7,46;$$

в холодильній камері (випарнику)

$$\Delta e_{\text{хв}}^{\text{см}} = T_{\text{нс}} (S_1 - S_2) - q_o = 298 (4,48 - 4,125) - 107 = 1,21.$$

Загальні ексергетичні втрати

$$\Sigma \Delta e_x^{\text{см}} = \Delta e_{\text{хкм}}^{\text{см}} + \Delta e_{\text{хкн}}^{\text{см}} + \Delta e_{\text{хдр}}^{\text{см}} + \Delta e_{\text{хв}}^{\text{см}} = 8,94 + 5,6 + 7,46 + 1,21 = 23,21.$$

Перевіряємо значення η_e

$$\eta_e = 1 - \Sigma \Delta e_x^{\text{см}} / \ell_{\text{к}} = 1 - 23,21 / 47,5 = 0,51.$$

Таблиця 2. 2

№. Вар.	Q_0 , кВт	t_x , °C;	t_n , °C	θ , °C;	η
1	200	-15	20	5	0,65
2	205	-18	22	6	0,7
3	210	-21	23	7	0,7
4	220	-25	20	4	0,6
5	195	-18	25	6	0,65
6	200	-15	20	6	0,7
7	205	-18	22	7	0,7
8	210	-21	23	4	0,6
9	220	-25	20	6	0,65
10	195	-18	25	5	0,65

Тема 3. Теплообмінні апарати

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Основні закономірності теплообміну.
2. Класифікація теплообмінників.
3. Конструкції теплообмінників.
4. Розрахунок теплообмінників.
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача. Розрахувати та накреслити схему вертикального кожухотрубного теплообмінника для нагрівання рідини за таких даних: кількість рідини, яку потрібно нагріти G , т/год; початкова температура t_n , °C; кінцева температура t_k , °C; тиск нагрівної пари P , МПа; концентрація розчину B , мас.%; швидкість руху рідини w , м/с.

Визначити поверхню теплопередачі теплообмінника та витрату пари, кількість ходів трубного простору, діаметр апарата, діаметри патрубків для підведення робочих середовищ, гідравлічний опір, енерговитрати для проведення процесу та товщину теплової ізоляції.

Розв'язання.

Внутрішній діаметр d_v трубок приймається в межах 20...50 мм за товщинистінки $\delta = 1,5...3$ мм; довжина (висота) трубок $H = 1...4$ м.

Матеріал трубок і коефіцієнт його теплопровідності $\lambda_{ст}$, Вт/(м К) приймається студентом: мідь $\lambda_{ст} = 380$; латунь $\lambda_{ст} = 93$; алюміній $\lambda_{ст} = 200$; сталь $\lambda_{ст} = 46$; нержавіюча сталь $\lambda_{ст} = 17,5$.

Коефіцієнт використання поверхні нагріву $\phi = 0,7...0,9$.

Таблиця 3.1

№ вар.	G	Б	w	t _n	t _к	P
1	60	16	0,9	70	90	0,15
2	70	16	1,0	80	96	0,17
3	80	17	1,1	85	100	0,20
4	90	17	1,2	90	110	0,24
5	100	18	1,3	105	120	0,32
6	75	18	1,4	55	85	0,12
7	85	20	1,5	100	115	0,28
8	95	20	1,15	60	90	0,15
9	65	16	1,25	40	80	0,11
10	55	16	0,8	35	75	0,095

1. Визначення температурних умов нагріву.

Середню різницю температур між парою і рідиною, що нагрівається, визначають як середньологарифмічну різницю:

$$\Delta t_c = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_{\delta}/\Delta t_m)} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{2,31g(\Delta t_{\delta}/\Delta t_m)},$$

де Δt_{δ} , Δt_m — різниці температур між теплоносіями на кінцях теплообмінника;

$$\Delta t_{\delta} = t_p - t_n ; \quad \Delta t_m = t_p - t_k$$

t_p — температура насиченої пари за тиску p .

Якщо $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} > 2$, то середньологарифмічну різницю можна замінити середньоарифметичною різницею:

$$\Delta t_c = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_m}{2}$$

Середня температура рідини, яку нагрівають:

$$t_c = t_p - \Delta t_c$$

2. Теплофізичні властивості рідини, що нагрівається.

При середній температурі t_c і концентрації B теплофізичні параметри розчину або води визначаються за допомогою рівнянь або таблиць. З таблиць і формул знаходять: в'язкість μ [Па · с]; густину ρ [кг/м³]; теплоємність c [Дж/(кг · К)]; коефіцієнт теплопровідності рідини λ [Вт/(м · К)].

3. Теплове навантаження і витрати пари. Теплове навантаження з урахуванням теплових втрат, Дж/с або Вт,

$$Q = xG_c(t_k - t_n),$$

де x — коефіцієнт, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище; $x = 1,02 \dots 1,05$; G — витрата рідини, кг/с; c — теплоємність рідини, Дж/(кг · К).

Витрати пари, кг/с,

$$D = \frac{Q}{I - i}$$

де I , i — ентальпія гріючої пари і конденсату, Дж/кг

Ентальпія конденсату

$$i = ct_k = 4190t_k,$$

де t_k — температура конденсату, що дорівнює $t_n - (2...3) ^\circ\text{C}$.

4. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Загальний коефіцієнт теплопередачі визначають за такою формулою:

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де α_1 — коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючої пари до стінки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ — товщина стінки, м; $\lambda_{\text{ст}}$ — теплопровідність стінки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; α_2 — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до рідини, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Коефіцієнт тепловіддачі α_2 визначається залежно від режиму руху рідини. При $Re < 2300$

$$Nu = 0,15Re^{0,33}Pr^{0,43}Gr^{0,1}\left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25}$$

де Nu , Re , Pr , Gr — відповідно критерії Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грас-гофа; $Pr_{\text{ст}}$ — критерії Прандтля при температурі стінки.

При $2300 < Re < 10000$

$$Nu = 0,008Re^{0,9}Pr^{0,43}$$

При $Re > 10000$

$$Nu = 0,021Re^{0,8}Pr^{0,43}\left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25}$$

Визначальний геометричний розмір — внутрішній діаметр трубки d_b , м. За знайденою величиною Nu :

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / d_b$$

Розрахункове рівняння для обчислення коефіцієнта тепловіддачі α_1 :

$$\alpha_1 = 2,04A^4 \sqrt{\frac{r}{H\Delta t_{\text{ст1}}}}$$

де A — розрахунковий коефіцієнт, який залежить від фізичних властивостей плівки конденсату, r — теплота конденсації, $\text{Дж}/\text{кг}$; H — висота (довжина) вертикальної трубки, м; Δt_1 — різниця температур, $t_p - t_{\text{ст1}}$, $^\circ\text{C}$; t_p — температура пари, $t_{\text{ст1}}$ — температура стінки, на якій конденсується пара;

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_p + t_{\text{ст1}}}{2}$$

Значення A залежно від температури плівки конденсату $t_{\text{пл}}$ такі:

$t_{\text{пл}}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
A	120	139	155	169	179	188	194	197	199	199

У зв'язку з тим, що температура стінки зі сторони пари $t_{\text{ст1}}$ невідома, її визначають методом послідовного наближення. Для цього задаються значенням $t_{\text{ст1}}$, яке знаходиться між t_p і t_c ; при цьому $t_{\text{ст1}}$ буде ближче до t_p .

Здану температуру перевіряють за таким рівнянням:

$$t_{\text{ст1}} = t_p - \frac{K\Delta t_c}{\alpha_1}$$

де $K = K_0\phi$ — розрахунковий коефіцієнт теплопередачі.

Різниця між заданою і розрахунковою температурами повинна бути

невища 1°C.

Визначення площі поверхні теплопередачі.

Площа поверхні нагрівання теплообмінника визначається за такою формулою:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_c}$$

Конструктивний розрахунок кожухотрубного теплообмінника. Для кожухотрубних теплообмінників важливою частиною конструктивного розрахунку є розрахунок проточної частини трубного простору. Виходячи із заданої продуктивності апарата і швидкості руху рідини з рівняння витрат визначають площу прохідного перерізу трубок одного ходу, м²:

$$f_1 = \frac{G}{\rho w}$$

де G — витрата рідини, кг/с; ρ — густина рідини, кг/м³; w — швидкість руху рідини всередині трубок, м/с.

Звідси число трубок одного ходу:

$$n_1 = \frac{f_1}{0,785d_B^2}$$

де d_B — внутрішній діаметр трубки, м.

Розрахункова довжина всіх ходів, м

$$L = \frac{F}{\pi d_p n_1}$$

де d_p — розрахунковий діаметр трубки, який визначають залежно від співвідношення α_1 і α_2 (при $\alpha_1 \approx \alpha_2$ — $d_p = 0,5(d_B + d_3)$; при $\alpha_1 \gg \alpha_2$ — $d_p = d_B$; при $\alpha_1 \ll \alpha_2$ — $d_p = d_3$); d_3 — зовнішній діаметр трубки, м.

Кількість ходів трубного простору

$$Z = L/H$$

Загальна кількість трубок, які розміщуються на трубних решітках

$$n = Zn_1$$

Для рідин у кожухотрубних теплообмінниках звичайно користуються трубами діаметром 16 ... 38 мм, а для газів, в'язких і забруднених рідин — до 76 мм. Труби в трубних решітках найчастіше розміщують по периметрах правильних шестикутників. Для даного випадку при визначенні в теплообміннику за гальної кількості труб n виходять з кількості труб a , розміщених на стороні найбільшого шестикутника:

$$n = 3a(a - 1) + 1.$$

Кількість труб, розміщених по діагоналі найбільшого шестикутника,

$$b = 2a - 1,$$

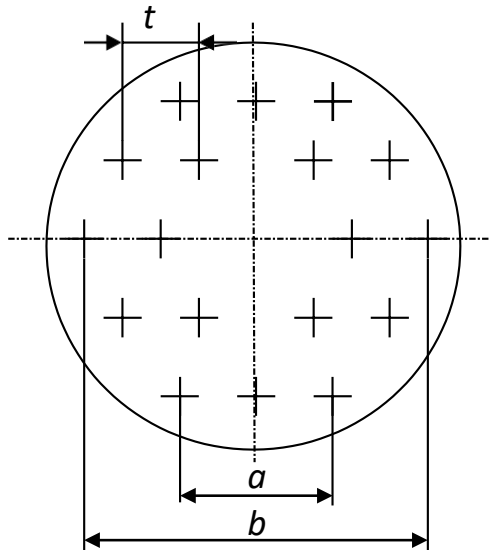


Рисунок 3.1. Схема розміщення труб

При закріпленні труб у трубних решітках розвальцьовуванням крок розміщення труб вибирають залежно від їхнього зовнішнього діаметра в межах

$$t = (1,3 \dots 1,5) d_3 .$$

При закріпленні труб зварюванням крок розміщення труб вибирають меншим ($t = 1,25d_3$). Іноді труби розміщують по периметрах квадратів або по концентричних колах.

Діаметр теплообмінника:

$$D = t(b - 1) + 4 d_3 .$$

Діаметр патрубків визначають за рівнянням об'ємних витрат, м³/с:

$$V = \frac{G}{\rho}$$

звідки діаметр патрубка, м

$$d_n = 1,13 \sqrt{\frac{G}{\rho w}}$$

Вибираючи швидкість руху теплоносіїв, можна керуватися такими рекомендаціями: для рідин $w = 0,5 \dots 1,5$ м/с, для пари $w = 20 \dots 40$ м/с, для газів $w = 5 \dots 15$ м/с.

Гідравлічний розрахунок теплообмінника потрібний для визначення потужності насосів і вентиляторів та встановлення оптимального режиму роботи апарата.

Потужність, потрібну для переміщення теплоносія через апарат, Вт,

$$N = \frac{V \Delta p}{\eta}$$

де V — об'ємні витрати рідини, м³/с; Δp — перепад тисків в апараті, Па; η — ККД насоса або вентилятора.

Гідравлічний опір апарата складається з опору тертя $\Delta p_{\text{тер}}$ і місцевих

опорів Δp_m . Отже, повний гідравлічний опір

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тер}_-} + \Delta p_{m_-} = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{w^2 \rho}{2}$$

де λ — коефіцієнт гідравлічного тертя; L — загальна довжина труби, м; d — діаметр труби, м; ζ — коефіцієнт місцевого опору; w — швидкість руху теплоносія, м/с; ρ — густина теплоносія, кг/м³.

Для ізотермічного ламінарного руху ($Re < 2300$) в круглих трубах коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Для ізотермічного турбулентного руху вгладеньких трубах ($Re = (4 \cdot 10^3 \dots 10^5)$)

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

Значення коефіцієнтів місцевих опорів беруть з таблиць від-повідних літературних джерел.

Визначення товщини теплової ізоляції. Теплова ізоляція — один із основ-них факторів, які зменшують втрати теплоти і зберігають паливо.

Товщина ізоляції повинна бути такою, щоб температура на її поверхні була не більшою за 50°C.

Товщина ізоляції:

$$\delta = \frac{\lambda(t_a - t_i)}{\alpha(t_i - t_n)}$$

де λ — теплопровідність ізоляційного матеріалу, Вт/(м · К); t_a , t_i , t_n — температура відповідно в апараті, на поверхні ізоляції та повітря, що оточує апарат, °С;

α — сумарний коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря, Вт/(м² · К),

$\alpha = 9,76 + 0,07(t_i - t_n)$.

Для апаратів, що працюють у закритих приміщеннях, t_i береться в інтервалі 35...45 °С, а на відкритому повітрі в зимовий час — в інтервалі 0...10 °С.

Тема 4. Процес випарювання.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Кипіння.
2. Класифікація методів випарювання.
3. Випарні апарати.
4. Тепловий баланс випарного апарата
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Розрахувати трикорпусну випарну установку для упарювання S т/год технологічного розчину за таких заданих величин: початкова концентрація розчину B_n , мас.%; кінцева концентрація розчину B_k , мас.%; відбір пари з корпусів E_1 і E_2 (у відсотках від кількості випареної води на ви-парній установці); тиск нагрівної пари — P_n , Па; температура вторинної пари — $t_{вт}$, °С; коефіцієнти теплопередачі по корпусах — K , Вт/(м² · К)

Розв'язування

1. Визначення навантажень корпусів випарної установки.

Перед початком розрахунку креслять принципову схему випарної установки з позначенням матеріальних і теплових потоків.

Розрахунок навантаження корпусів зводиться до розподілу по корпусах загальної кількості випареної води,

$$W = S (1 - B_n/B_k)$$

При приблизному розрахунку установки приймаємо, що за рахунок 1 кг гріючої пари випарується 1 кг води, тобто для кожного із корпусів $W_i = D_i$.

Кількість води, що випаровується в кожному корпусі, становить: 3-й корпус — $W_3 = D_3 = X$;

2-й корпус — $W_2 = D_2 = X + E'_2$;

1-й корпус — $W_1 = D_1 = X + E'_2 + E'_1$.

Звідси $\Sigma W = 3X + 2E'_2 + E'_1$

$$X = W/3 = \frac{W - 2E'_2 - E'_1}{3},$$

де D_1, D_2, D_3 — кількість пари, яка йде на нагрівання кожного корпуса; E'_1 і E'_2 — паровідбір, $E' = W \frac{E}{100}$.

2. Розрахунок концентрації розчину в корпусах.

При визначенні концентрації розчину після кожного корпусу випарної установки користуються таким співвідношенням:

$$B_i = \frac{S \times B_n}{S - \sum_1^i W}$$

3. Розрахунок температурного режиму випарних апаратів.

Основна мета розрахунку температурного режиму випарної установки — розподілити сумарну корисну різницю температур по окремих корпусах:

$$\sum \Delta t = t_n - t_k - \sum_1^n \Delta$$

де t_n — температура гріючої пари, яка йде на 1-й корпус; t_k — температура вторинної пари при вході в конденсатор; $\Sigma \Delta$ — сумарні температурні втрати.

Температурні втрати при випарюванні складаються з температурних втрат від фізико-хімічної температурної депресії Δ_f , втрат від гідростатичної депресії Δ_r та втрат температур у паропроводах між корпусами Δ_c , спричинених гідравлічними опорами.

При розрахунках випарної установки можна користуватися такими значеннями фізико-хімічної депресії з включенням втрат внаслідок

гідростатичної де пресії:

$$1\text{-й корпус} \text{ — } \Delta_{\phi 1} + \Delta_{r1} = 0,5^{\circ}\text{C};$$

$$2\text{-й корпус} \text{ — } \Delta_{\phi 2} + \Delta_{r2} = 1,5^{\circ}\text{C};$$

$$3\text{-й корпус} \text{ — } \Delta_{\phi 3} + \Delta_{r3} = 3,0^{\circ}\text{C}.$$

Втрати температур в паропроводах становлять $\Delta_c = 0,5 \dots 2^{\circ}\text{C}$.

Сумарна корисна різниця температур розподіляється виходячи із заданих температур вторинної пари. Для визначення температурного режиму випарної установки знаходять:

температуру гріючої пари в i -му корпусі

$$t_{pi} = t_{BT\ i-1} - \Delta_{ci-1}$$

температуру кипіння розчину в i -му корпусі

$$t_{pi} = t_{BTi} + (\Delta_{\phi i} + \Delta_{r i})$$

корисну різницю температур

$$\Delta t_i = t_{pi} - t_{pi}.$$

За температурами гріючої і вторинної пари знаходять їх ентальпію I_i і теплоту конденсації (пароутворення) r_i

4. Визначення площі поверхні нагріву в i -му корпус

$$F_i = \frac{Q_i}{K_i \Delta t_{ki}}$$

де Q_i — теплове навантаження корпуса, Вт; $Q_i = W_i r_i$.

Задача 2. Розрахувати однокорпусну випарну установку для концентрування розчину цукрового сиропу з початковою концентрацією X_p % мас, до кінцевої концентрації X_k % мас. Продуктивність установки S т/год. Тиск гріючої пари першого корпусу P_p МПа. Початковий розчин підігрівается у підігрівачі від $t_n, ^{\circ}\text{C}$ до $t_B, ^{\circ}\text{C}$ за рахунок тепла вторинної пари, яка виходить з випарного апарата і подається в підігрівач як гріюча. Початкова температура охолоджуючої води в конденсаторі $t_{no}, ^{\circ}\text{C}$ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

№ вар.	X_p % мас	X_k % мас	P_p , МПа	S , т/год	$t_n, ^{\circ}\text{C}$	$t_B, ^{\circ}\text{C}$	$t_{no}, ^{\circ}\text{C}$
1	15	28	0,35	5	14	85	18
2	14	30	0,4	4	15	87	19
3	16	32	0,45	4,5	16	90	20
4	17	35	0,5	5,5	17	91	21
5	14	30	0,45	6	20	89	22
6	15	28	0,35	4	15	87	19
7	14	30	0,4	4,5	16	90	20
8	16	32	0,45	5,5	17	91	21
9	17	35	0,5	6	20	89	22
10	14	30	0,45	7	14	85	18

Тема 5. Процеси перегонки.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Дистиляція і ректифікація.
2. Робоче флегмове число.
3. Будова ректифікаційних установок.
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Визначити мінімальне та робоче флегмове число для колони ректифікації, призначеної для поділу водно-спиртової суміші з вмістом етилового спирта $X_{сп}=7,2\% = 3,03$ мол. %. Вміст спирту в дистиляті $X_D=82,11$ мас. $\% = 66,0$ мол. %. Приймаючи коефіцієнт надлишку флегми $\beta=1,4$. (табл. 5.1.)

Таблиця 5.1.

№ вар.	$X_{сп}$, мол. %.	X_D , мол. %.	β
1	3,0	65,0	1,25
2	3,01	65,5	1,3
3	3,03	66,0	1,35
4	3,05	66,5	1,45
5	3,08	67	1,4
6	3,0	65,0	1,3
7	3,01	65,5	1,35
8	3,03	66,0	1,45
9	3,05	66,5	1,4
10	3,08	67	1,25

Розв'язання

Згідно з довідковими даними: рівноважне жання спирту в парах, отриманих з рідини складу $X_M=3,03$ мол. %, $Y_M=24,5$ мол. %.

Тоді мінімальне флегмове число:

$$v_{min}=(X_D-Y_M)(Y_M-X_M)=1,65$$

Робоче флегмове число:

$$V=\beta v_{min}=2,31$$

Задача 2. Визначити діаметр бражної колони продуктивністю $V_{бр}=10$ м³/год браги концентрацією $X_M=8,5$ об. % Колона працює під середнім вакуумом $p_{в,сер}=0,79$ ат (середній залишковий тиск $p_{сер}=20,6$ кПа). Тарілки в колоні ґратчасті провального типу із живим перетином $F=0,15$ м²/м². Витрата пари на перегонку за масою браги $P=19$ %. Брага надходить до колони нагрітої до температури кипіння. Середня температура перегонки $t_{сер}=61$ °С (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

№ вар.	$V_{бр}, ^3/год$	$X_M, об. \%$	$p_{сер}, кПа$	$F, м^2/м^2$	$P, \%$	$t_{сер}, ^\circ C$
1	8	8	20	0,12	17	60
2	9	8,2	20,4	0,13	18	61
3	10	8,3	20,5	0,15	19	62
4	11	8,5	21	0,16	21	61
5	12	9	22	0,14	20	60
6	8	8	20,4	0,13	18	61
7	9	8,2	20,5	0,15	19	62
8	10	8,3	21	0,16	21	61
9	11	8,5	22	0,14	20	60
10	12	9	20	0,12	17	60

Розв'язання

При $p=20,6кПа$ вміст спирту у бразі $X_M=8,5 об. \% = 6,8 мас. \%$ відповідає рівноважний вміст їх у парах $Y=43 мас. \%$. при коефіцієнті надлишку пари, що гріє, в колоні $\beta=1,05$ дійсна концентрація бражного дистиляту складе:

$$X = Y / \beta = 41$$

Молекулярна маса бражного дистиляту складе:

$$M = M_{сп} X_{сп} + M_B X_B = 29,48$$

При щільності браги $\rho_{бр} = 1020 кг/м^3$ її секундна витрата станове:

$$G_{бр} = V_{бр} \rho_{бр} \tau = 2,83 кг/с$$

З цієї кількості браги отримаємо бражного дистилята концентрацією 41%:

$$G_d = G_{бр} X_{бр} / Y = 0,47 кг/с$$

Середню щільність водноспиртивих пар, які рухаються в колоні:

$$\rho_{сер} = p_{п} / (MRT_{сер}) = 0,176 кг/м^3$$

Молекулярна маса цих пар:

$$M = M_{сп} Y_{сер. сп.} + M_B Y_{сер. в.} = 23,74$$

$$t_{сер} = 61^\circ C, p_{сер} = 20,6 кПа.$$

Об'єм пар бражного дистиляту:

$$V_{п} = G_d / \rho_{сер} = 2,67 м^3/с$$

Величина парового потоку:

$$G = P * i_1 * G_{бр} / i_2 * 100 = 0,54 кг/с$$

де $i_1 = 2624,4 Дж/кг$ інтальпія грючої пари

$i_2 = 2610,5 Дж/кг$ інтальпія пари в колоні

Гранично допустима швидкість водно-спиртових пар

$$\omega_d = \frac{7,6 F \sqrt{G/L}}{\sqrt{\rho_{п}}} = 1,58 м/с$$

де $L = G_{бр}$ так як брага доведена тільки до кипіння

Діаметр бражної колони:

$$d = \sqrt{V_{п} (0,785 \omega)} = 1,5 м$$

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Тема 6. Електрофізичні методи обробки харчових продуктів.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. НВЧ-апарати.
2. Діелектрична проникність.
3. Дипольна поляризація
4. Індукційне, діелектричне нагрівання
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Продукти опромінюються потоком НВЧ-випромінювача, що виходить у вільний простір із відкритого корпусу хвилеводу $a \times b = 72 \times 34$ мм. Потужність живильного хвилевід генератора $P_0 = 50$ кВт. Оцінити ккд виходу НВЧ-опромінення з такого опромінювача, якщо частота генератора $f = 3$ Гц (табл. 6.1).

Таблиця 6.1.

№ вар.	$a \times b$, мм	P_0 , кВт	f , ГГц
1	72x34	40	2,8
2	76x34	45	2,9
3	72x36	35	2,8
4	78x36	55	3,2
5	72x32	40	3
6	72x32	40	2,7
7	72x34	45	2,8
8	76x34	35	2,9
9	72x36	55	2,8
10	78x336	40	3,2

Розв'язання

Навантаженням відкритого кінця хвилеводу служить вільний простір із хвильовим опором $Z_0 = 377$ Ом.

Коефіцієнт відображення:

$$\Gamma = \frac{Z_H - Z_0}{Z_H + Z_0}$$

Еквівалентний опір прямокутного хвилеводу на хвилі H_{10} :

$$Z_H = \frac{a}{b} \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}}$$

$$\text{Або } \frac{Z_{\Pi}}{Z_0} = \frac{a}{b} \frac{1}{\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}} = \frac{34}{72} \frac{1}{\sqrt{1-(100/144)^2}} = 0,656$$

$$\Gamma = \frac{1 - Z_{\Pi}/Z_0}{1 + Z_{\Pi}/Z_0} = \frac{1 - 0,656}{1 + 0,656} = 0,208$$

$$P_{\text{випр}} = P_0(1 - \Gamma^2) = 0,95P_0 = 47,5 \text{ кВт}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{випр}}}{P_0} = \frac{47,5}{50} = 0,95$$

Задача. 2. НВЧ-зерносушка живиться від генератора з частотою $f=915$ МГц. Визначити гранично допустиму товщину шару рису на транспортері, якщо його комплексна діелектрична проникність $\epsilon' = 2,8 - 0,18i$ (табл. 6.2).

Таблиця 6. 2

№ вар.	F, МГц.	сировина	$\epsilon' = 2,8 - 0,18i$.
1	910	гречка	2,75-0,185i.
2	920	просо	2,8-0,19i.
3	925	рис	2,9-0,175i.
4	930	пшениця	2,85-0,19i.
5	950	горох	2,9-0,18i.
6	910	кукурудза	2,7-0,18i.
7	920	гречка	2,75-0,185i.
8	925	просо	2,8-0,19i.
9	930	рис	2,9-0,175i.
10	950	пшениця	2,85-0,19i.

Розв'язання

Гранично допустима товщина зерна - не більше товщини скін-шару, де напруженість електричного поля зменшується в e раз, а потік потужності в $e^2 = 7,4$ рази.

При $\lambda = c/f = 32,78$ см товщина скін-шару

$$\delta = \frac{\lambda}{\pi\sqrt{\epsilon_1} \operatorname{tg} \delta} = \frac{\lambda\sqrt{\epsilon_1}}{\pi\epsilon_2} = \frac{32,78\sqrt{2,8}}{\pi \cdot 0,18} = 0,97 \text{ м}$$

Товщина шару зерна $t_{\text{зерна}} \leq 0,97$ м

Тема 7. Дослідження основних характеристик газових пальників та їх розрахунок.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Загальна характеристика процесів горіння газоподібного палива.
2. Характеристика газових пальників.
3. Газові суміші.

2. Опитування.

3. Практичні завдання

Приклад розв'язування завдання.

Задача. Необхідно розрахувати інжекційний палик середнього тиску, призначений для спалювання газу з $\rho=0,82$ кг/м³, $Q_H=36855$ кДж/м³. Витрата газу дорівнює $V_K=136,2$ м³/год. Розрахунок зводиться до вибору необхідного типу палика, перевірки можливості її роботи за даних умов та знаходження необхідного тиску газу перед паликом (табл. 7.1).

Таблиця 7. 1

№ вар	ρ , кг/м ³	Q_H , кДж/м ³	V_K , м ³ /ГОД
1	0,81	36800	135
2	0,82	37000	136
3	0,815	37100	134
4	0,825	36900	137
5	0,82	36850	138
6	0,81	36800	136
7	0,82	37000	134
8	0,815	37100	137
9	0,825	36900	138
10	0,82	36850	135

Приймаємо до встановлення інжекційний палик типу В 205/дсіз тепловим навантаженням $Q_T=1700$ кВт. Основні дані наведено в таблиці 7. 2.

Таблиця 7. 2.

Типорозмір	Розмір у мм							
	D_1 *	d_c	d_r	d_n	D	K	L	h
205/15	2	15	166	205	490	555	2130	220

* - розмір дано у дюймах.

В основу розрахунку інжекційних паликів покладено закон збереження енергії. Перевіряємо баланс енергії у палику. Повинна виконуватись умова:

$$E > E_B + E_G + E_D + E_H + E_{\text{пот}}, \text{ Дж/м}^3.$$

Знайдемо витрати енергії:

1. На інжекцію повітря, тобто створення швидкості ежектируемого повітря:

$$E_{\text{пов}} = \frac{W_r \rho a V_0}{2}, \text{ Дж/м}^3$$

де W_r -швидкість газоповітряної суміші в горловині:

$$W_r = \frac{V_r(1 + V_0)}{3600 * 0,785 d_r^2} \frac{273 + t_{\text{сум}}}{273}, \text{ м/с}$$

де $t_{\text{сум}}$ приймається рівною температурі повітря у приміщенні, $t_{\text{сум}}=18^\circ\text{C}$;

$$W_z = \frac{136,2 \cdot (1+11,4)}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,166^2} \cdot \frac{273+20}{273} = 23,28 \text{ м/с};$$

$$E_{\text{пов}} = \frac{23,28^2 \cdot 1,293 \cdot 1,1 \cdot 10,38}{2} = 4000,6 \text{ Дж/м}^3$$

2. На зміну швидкості струменя газу від W_c до W_r :

$$E_z = \frac{(W_c - W_z)^2 \cdot \rho_0}{2}, \text{ Дж/м}^3;$$

де W_c - швидкість виходу газу із сопла.

Знайдемо цю швидкість, виходячи із закону збереження кількості руху при змішуванні газу та повітря. Кількість повітря 1 м^3 , що виходить із сопла дорівнює $W_c \cdot \rho$, а інжекційного з атмосфери повітря можна приймати рівним нулю, оскільки воно не має початкової швидкості. У горловині змішувача суміш газу повітря приймає швидкість W_r і відповідну їй $W_r(\rho_r + \alpha \cdot V_o \cdot \rho_{\text{пов}})$. Тоді рівність збереження кількості руху

$$W_c \cdot \rho_r = W_r \cdot (\rho_r + \alpha \cdot V_o \cdot \rho_{\text{пов}}).$$

Звідси:

$$W_c = W_r \cdot (1 + V_o \cdot \rho_{\text{пов}} / \rho_r), \text{ м/с};$$

Швидкість виходу газу з сопла не повинна перевищувати 300 м/с, інакше необхідно зробити перерахунок і вибрати пальник більшої потужності.

$$W_c = 23,28 \cdot (1 + 11,4 \cdot 1,293 / 0,82) = 441,76 \text{ м/с};$$

$$E_z = \frac{(441,76 - 23,28)^2 \cdot 0,82}{2} = 71801,5 \text{ Дж/м}^3.$$

3. Витрати енергії в дифузорі при зміні швидкості газоповітряної суміші.

$$E_o = \frac{W_z^2 - W_o^2}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot V_o) \cdot \rho_{\text{см}} \cdot (1 - \eta), \text{ Дж/м}^3;$$

де η - ККД дифузора, який залежить від d_r/d_d ;

W_d - швидкість суміші у вихідній частині дифузора:

$$W_o = \frac{V_z \cdot (1 + \alpha \cdot V_o)}{3600 \cdot 0,785 \cdot d_o^2} \cdot \frac{273 + t_{\text{см}}}{273}, \text{ м/с};$$

де $d_d = (1,5 \div 1,8) d_r = 1,8 \cdot 166 = 298,8 \text{ мм}$, $d_r/d_d = 0,55$, $\eta = 0,8$;

$$W_o = \frac{136,2 \cdot (1+11,4)}{3600 \cdot 0,07} \cdot \frac{273+20}{273} = 7,19 \text{ м/с};$$

$\rho_{\text{см}}$ - щільність газоповітряної суміші з вихідною частиною дифузора:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_o + \alpha \cdot V_o \cdot \rho_v}{1 + \alpha \cdot V_o} \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{см}}}, \text{ кг/м}^3; \quad (11.10)$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{0,82 + 1,1 \cdot 10,38 \cdot 1,293}{1 + 11,4} \cdot \frac{273}{273 + 20} = 1,17 \text{ кг/м}^3;$$

$$E_o = \frac{23,28^2 - 7,19^2}{2} \cdot (1 + 11,4) \cdot 1,17 \cdot (1 - 0,8) = 711,3 \text{ Дж/м}^3;$$

4. Витрати енергії у насадці пальника:

$$E_n = \frac{1,5 \cdot (W_o - W_n)^2 \cdot \rho_{\text{см}}}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot V_o), \text{ Дж/м}^3;$$

де W_H – знаходиться за формулою:

$$W_H = \frac{V_c \cdot (1 + V_c)}{3600 \cdot 0,785 \cdot d_n^2} \cdot \frac{273 + t_{cm}}{273}, \text{ м / с}; \quad (11.12)$$

$$W_H = \frac{136,2 \cdot (1 + 11,4)}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,205^2} \cdot \frac{273 + 50}{273} = 16,8 \text{ м / с};$$

$$E_H = \frac{1,5 \cdot (7,19 - 16,8)^2 \cdot 1,17}{2} \cdot (1 + 11,4) \cdot 1,17 = 1004,9 \text{ Дж / м}^3;$$

Швидкість виходу газоповітряної суміші з насадка пальника не повинна бути меншою за швидкість поширення полум'я для суміші даного газу при мінімальному витраті газу пальником.

5. Витрати енергії з вихідною швидкістю газоповітряної суміші з насадка пальника:

$$E_{nam} = \frac{W_H^2}{2} \cdot \rho_{сум} \cdot (1 + \alpha \cdot V_o), \text{ Дж / м}^3;$$

де $\rho_{сум}$ – щільність газоповітряної суміші у вихідному перерізі дифузора, кг / м^3 ;

$$\rho_{cm} = \frac{\rho_o + \alpha \cdot V_o \cdot \rho_v}{1 + \alpha \cdot V_o} \cdot \frac{273}{273 + t_n}, \text{ кг / м}^3;$$

$$\rho_{cm} = \frac{0,82 + 11,4 \cdot 1,293}{1 + 11,4} \cdot \frac{273}{273 + 50} = 1,06 \text{ кг / м}^3;$$

$$E_{nom} = \frac{16,8^2}{2} \cdot 1,06 \cdot (1 + 11,4) = 1854,9 \text{ Дж / м}^3.$$

6. Загальні витрати енергії:

$$E = E_{пов} + E_{Г} + E_{д} + E_H + E_{пот} = 4000,6 + 71801,5 + 711,3 + 1004,9 + 1854,9 = 79373,2 \text{ Дж / м}^3.$$

7. Джерелом енергії в пальнику є кінетична енергія струменя газу, що випливає із сопла:

$$E_c = \frac{W_c^2}{2} \cdot \rho_o, \text{ Дж / м}^3;$$

$$E_c = \frac{441,76^2}{2} \cdot 0,82 = 80012,3 \text{ Дж / м}^3.$$

$$E_{Г} > E$$

8. Знайдемо необхідний тиск газу перед пальником

$$P_{гор} = E_{Г} / \mu_o^2, \text{ Па};$$

де μ_o - коефіцієнт витрати отворів головки пальника, що враховує втрати при закінченні. Оскільки виходи насадок – це канал довжиною від 2 до 4 діаметрів отворів, то $\mu_o = 0,75 \div 0,82$.

$$P_{гор} = 80012,3 / 0,82 = 125019,2 \text{ Па}.$$

Необхідно врахувати, що максимальний тиск газу перед пальником не повинен перевищувати критичного тиску, що дорівнює природному газу 90000 Па. При більшому тиску порушується режим витікання газу із сопла, змінюється склад газоповітряної суміші.

Як відомо, нормальна стійка робота більшості промислових пальників при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 1$ забезпечується лише за наявності

стабілізаторів фронту горіння (керамічні тунелі пластинчасті стабілізатори тощо).

Для визначення швидкості, при якій настає відрив полум'я для пальників з керамічними тунелями, використовують формулу:

$$W_{\text{отр}} = C_1 \cdot \alpha^{-2} \cdot W_{\text{норм}}^{1,5} \cdot \left(\frac{d_m}{a} \right)^{0,5}, \text{ м/с};$$

де C_1 - емпіричний коефіцієнт, $C_1 = 57,5$;

$W_{\text{норм}}$ – нормальна швидкість поширення полум'я, м/с, $W_{\text{норм}} = 0,38$ м/с;

α - коефіцієнт температуропровідності суміші, м²/с, рівний $\alpha = 0,213 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Тоді

$$W_{\text{отр}} = 57,5 \cdot 1,1^{-2} \cdot 0,38^{1,5} \cdot \left(\frac{0,155}{0,213 \cdot 10^{-4}} \right)^{0,5} = 1042 \text{ м/с} > W_n.$$

Для визначення швидкості, при якій надходить прорив полум'я, користуються формулою:

$$W_{\text{пр}}^{\text{max}} = C_2 \cdot W_{\text{норм}}^2 \cdot \frac{d_n}{a}, \text{ м/с};$$

де C_2 - емпіричний коефіцієнт, рівний $7,75 \cdot 10^{-3}$;

$$W_{\text{пр}}^{\text{max}} = 7,75 \cdot 10^{-3} \cdot 0,38^2 \cdot \frac{0,205}{0,213 \cdot 10^{-4}} = 10,8 \text{ м/с} < W_n.$$

Таким чином, стабілізація полум'я при використанні керамічного тунелю буде забезпечена.

Тема 8. Процес сушіння.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Загальна характеристика процесу.
2. Статика та кінетика сушіння.
3. Основні апарати для сушіння продуктів.
4. Спеціальні та перспективні методи сушіння.

2. Опитування.

3. Практичні завдання

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Розрахувати і накреслити барабанну сушарку з реальним процесом сушіння. Основний елемент барабанної сушильної установки – циліндричний барабан, що обертається, з внутрішньою насадкою, яка сприяє переміщенню матеріалу. Сушильний агент (повітря), параметри якого I_0, d_0, t_0, φ_0 , вентилятором подається у калорифер, де підігрівається до стану I_1, d_1, t_1, φ_1 , а потім надходить у сушильний барабан (рис. 8.1).

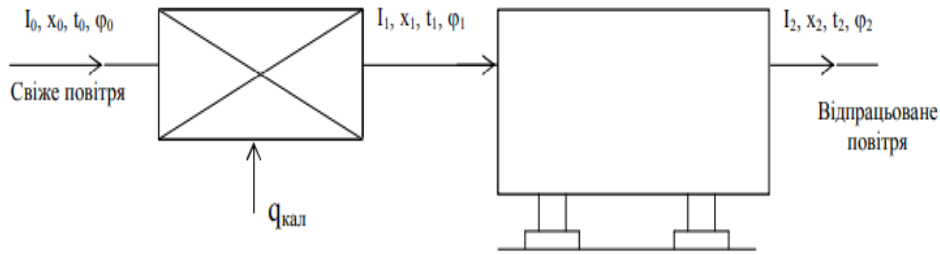


Рисунок 8.1 – Схема сушильної установки

Установка працює за принципом прямотечії повітря і матеріалу під час сушіння цукру-піску і протитечії під час сушіння крохмалю.

Початкові дані: потужність сушарки за висушеним матеріалом – G_2 , кг/год; питома теплоємність абсолютного сухого матеріалу – $c_{с.м}$; вологість матеріалу, % до загальної маси: початкова – ω_1 , кінцева – ω_2 ; температура матеріалу, який надходить на сушіння – θ_1 ; температура матеріалу, який виходить з сушильного барабана – θ_2 (табл. 8.1).

Параметри повітря: температура свіжого повітря, що надходить до калорифера – t_0 ; відносна вологість свіжого повітря – ϕ_0 , температура повітря, що надходить до сушильного барабана – t_1 ; температура відпрацьованого повітря, що виходить з сушильного барабана, – t_2 ; загальні втрати теплоти в навколишнє середовище – $Q_{н.с}$; напруга барабана за вологою – A .

Під час виконання розрахунку необхідно: накреслити принципову схему сушильної установки і показати продуктивні і теплові потоки та їх параметри; побудувати і описати процес, що протікає в сушильній установці, в I–x діаграмі.

У результаті графоаналітичного розрахунку визначити: кількість видаленої вологи; параметри повітря, що надходить до калорифера I_0, x_0 ; параметри повітря на виході з калорифера - I_1, x_1, ϕ_1 ; на виході з сушильного барабана – I_2, x_2, ϕ_2 ; питому і повну витрати повітря; питому і повну витрату теплоти в калорифері; основні розміри сушильного барабана.

Таблиця 8.1 – Початкові дані для розрахунку барабанної сушарки

№	Величини	Варіант									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цукор-пісок											
Не парне	G_2 , кг/год	9500	11500	12500	6400	8500	7500	14000	15000	18000	19000
	$c_{с.м.}$, кДж/кг	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712
	ω_1 , %	1,5	1,4	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7	1,5	1,6	1,7
	θ_1 , °C	50	52	54	54	50	55	55	53	51	49
	ω_2 , %	0,45	0,47	0,50	0,50	0,53	0,45	0,45	0,49	0,5	0,55
	θ_2 , °C	32	33	34	34	36	38	38	39	40	35
П	t_0 , °C	18	20	22	22	25	-10	-10	20	-5	25

$\varphi_0, \%$	60	65	70	70	80	65	65	70	75	80
$t_1, ^\circ\text{C}$	105	110	115	115	125	120	120	115	110	105
$t_2, ^\circ\text{C}$	65	70	75	75	80	70	70	65	80	75
$Q_{\text{н.с.}} \text{кДж}$	25000	30000	35000	35000	40000	25000	25000	30000	35000	40000
$A, \text{кг}(\text{м}^3 \times \text{г})$	7	6	7	7	7	7	7	6	7	6
од)										

Крохмаль

Не парне		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$G_2, \text{кг/год}$	250	300	350	400	450	500	550	600	650	300
	$c_{\text{с.м.}}, \text{кДж/кг}$	1,09	1,040	1,130	1,215	1,250	1,09	1,040	1,130	1,215	1,250
	$\omega_1, \%$	34	35	36	37	38	34	35	36	37	38
	$\theta_1, ^\circ\text{C}$	12	11	10	9	8	12	11	10	9	8
	$\omega_2, \%$	13	14	15	19	21	20	18	16	14	13
	$\theta_2, ^\circ\text{C}$	30	35	28	32	29	30	34	32	28	34
Парне	$t_0, ^\circ\text{C}$	10	15	20	25	-5	10	15	20	-5	25
	$\varphi_0, \%$	60	65	70	75	80	80	75	70	65	60
	$t_1, ^\circ\text{C}$	77	85	100	110	85	80	85	90	100	110
	$t_2, ^\circ\text{C}$	32	35	35	40	32	32	35	35	40	32
	$Q_{\text{н.с.}} \text{кДж/кг}$	15000	20000	25000	30000	40000	20000	25000	30000	35000	40000
	$A, \text{кг}(\text{м}^3 \times \text{г})$	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7
	од)										

Барабанну сушарку розраховують аналітично і графічно за допомогою діаграми вологого повітря.

Розрахунок потужності барабанної сушарки за вологим матеріалом. Нехтуючи втратами сухої речовини під час сушіння, потужність сушарки за вологим матеріалом розраховують за таким рівнянням, кг/год:

$$G_1 = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1}$$

Розрахунок кількості випареної вологи. Згідно з законом збереження речовини витрата висушеної вологи, кг/год,

$$W = G_1 - G_2$$

Для перевірки кількість висушеної вологи визначають також з таких рівнянь:

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_2}$$

$$W = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1}$$

Тепловий розрахунок барабанної сушарки. Відмінність дійсного сушильного процесу, що відбувається в сушарці, від теоретичного визначається величиною Δ , кДж/кг вологи:

$$\Delta = c_w \theta_1 - (q_m + q_{\text{н.с.}}),$$

де $c_w = 4,19$ кДж/(кг К) - теплоємність води; θ_1 - температура матеріалу на вході в сушарку; q_m - питомі витрати теплоти на нагрівання матеріалу, кДж/кг вологи; $q_{\text{н.с.}}$ - питомі втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж/кг вологи.

Питомі витрати теплоти на нагрівання матеріалу в сушарці:

$$q_M = \frac{G_2 c_{M_2} (u_2 - u_1)}{W}$$

c_{M_2} - питома теплоємність абсолютно сухого матеріалу, кДж/(кг К),

$$c_{M_2} = \frac{c_B \omega_2 + c_{c.M} (100 - \omega_2)}{100}$$

де $c_{c.M}$ - питома теплоємність абсолютного сухого матеріалу, кДж/(кг К);

θ_2 - температура матеріалу на виході з сушарки;

c_B - питома теплоємність води

Питомі втрати теплоти в навколишнє середовище:

$$q_{H.c} = \frac{Q_{H.c}}{W}$$

Визначивши питомі втрати теплоти, розраховують поправку /1 на дійсну сушарку.

Зображення стану повітря і побудова процесу сушіння в I-x діаграмі (рис. 8.2). Робимо ксерокопію I-x діаграми і на ній виконуємо побудову. За заданими значеннями початкової температури t_0 і початкової відносної вологості φ_0 визначаємо положення точки А, яка характеризує стан свіжого повітря. На перетині лінії сталого вологовмісту $x_0 = \text{const}$ з ізотермою $t_1 = \text{const}$ знаходять точку В, яка характеризує стан нагрітого повітря перед сушильною камерою. Через точку А проводять лінії $I = \text{const}$, $x = \text{const}$ і визначають значення питомої ентальпії I_0 і питомого вологовмісту x_0 свіжого повітря.

Провівши через точку В лінії $I = \text{const}$ і $\varphi = \text{const}$, визначають параметри нагрітого в калорифері повітря I_1 , φ_1 , $x_1 = x_0$.

Точка С, яка характеризує стан повітря на виході з сушарки при теоретичному процесі сушіння, міститься на перетині ізотерми t_2 та $I_1 = \text{const}$.

Теоретичний сушильний процес у барабанній сушарці для заданих умов зображується лінією ВС.

Лінія реального сушильного процесу починається в точці В і пройде вище лінії $I_1 = \text{const}$, якщо $\Delta > 0$ або нижче лінії $I_1 = \text{const}$, якщо $\Delta < 0$.

Через довільну точку e на лінії ВС проводять горизонтальну лінію eF до перетину з лінією $x_0 = \text{const}$. Потім паралельно осі ординат проводять лінію eE .

$$eE = eF \frac{\Delta}{m}$$

де eF - довжина відрізка, мм;

$$m = \frac{M_1}{M_x}$$

Де M_1 , M_x - відповідно масштаби осі питомої ентальпії і осі питомого вологовмісту діаграми.

Якщо $\Delta > 0$, відрізок eE відкладають вгору від точки e , при $\Delta < 0$ - вниз. Через точки В і Е проводять лінію реальної сушарки до перетину з лінією $t_2 = \text{const}$.

Отримана точка C_1 (при $\Delta > 0$) характеризує стан повітря на виході з сушильного барабана.

Весь процес, що відбувається в реальній сушарці, зображається ламаною лінією ABC_1 .

При побудові процесу за допомогою діаграми I - x визначають усі невідомі параметри вологого повітря.

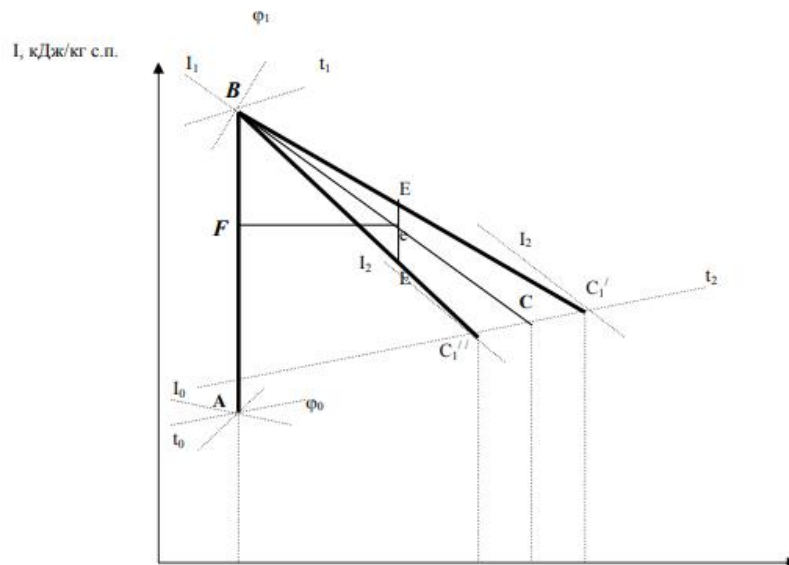


Рисунок. 8.2 – Побудова реального сушильного процесу

Розрахунок витрати повітря в сушарці. Питома витрата повітря, що подається в сушильний барабан, кг/кг вологи.

Повна витрата повітря, кг/год,

Розрахунок витрати теплоти в калорифері. Питома витрата теплоти в калорифері для барабанної сушарки, кДж/кг вологи,

$$q_{\text{кал}} = \ell (I_1 - I_0),$$

де I_1 і I_0 - питома ентальпія свіжого повітря відповідно до і після калорифера, кДж/кг с.п.

Оцінка отриманого результату. Питома витрата теплоти $q_{\text{кал}}$, кДж на 1 кг висушеної вологи, повинна не більше ніж у півтори рази перевищувати теплоту пароутворення води при 0°C , яка дорівнює 2500 кДж/кг. Висока витрата теплоти на сушіння пояснюється значними витратами теплоти з повітрям, яке виходить із сушарки ще досить теплим. З метою економії теплової енергії на обезвожування харчових продуктів частину вологи перед сушінням видаляють пресуванням або центрифугуванням.

Повна витрата теплоти в калорифері Q , кДж/год,

$$Q_{\text{кал}} = q_{\text{кал}} W.$$

Визначення основних розмірів сушильного барабана. Знаючи напругу барабана по волозі, тобто кількість вологи, що видаляється з матеріалу в 1 м^3 простору сушильного барабана, можна визначити об'єм барабана V , м^3 :

$$V = \frac{W}{A}$$

де A - напруга барабана по волозі, кг/(м^3 год).

Об'єм сушильного барабана V , м^3 , можна також визначити з такого рівняння:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} B$$

де D і B - відповідно діаметр і довжина барабана, м.

Діаметр барабана визначають виходячи з витрати сухого повітря L , м.

$$D = 0,0188 \sqrt{\frac{LV_0}{(1 - B)\omega}}$$

де V_0 – об'єм вологого повітря, який припадає на 1 кг сухого повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$ сухого повітря, визначається з таблиці 8.1. залежно від температури t_2 і відносної вологості φ_2 повітря, яке виходить з сушильного барабана;

β – коефіцієнт заповнення барабана, який приймається в межах 0,04...0,06;

ω – швидкість сушильного агента в барабані; при сушінні цукру-піску $\omega = 0,5...1\text{м/с}$.

За відомими об'ємом і діаметром барабана довжину барабана визначають з рівняння

$$B = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Діаметр барабана приймають 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 2800 мм. Відношення довжини барабана до його діаметра має бути в межах $B/D = 3,5...7$.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ГІДРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ

Тема 9. Основні рівняння гідродинаміки.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Гідростатика.
2. Гідродинаміка.
3. Рівняння нерозривності потоку.
4. Рівняння Бернуллі.
5. Місцеві гідравлічні опори.
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Визначити рівень рідини H у відкритому в атмосферу напірному резервуарі над місцем введення її в ректифікаційну колону. Вихідні дані: густина рідини $\rho = 980 \text{ кг/м}^3$; коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu = 1150 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; надлишковий тиск в колоні $P_{\text{надл}}$, кПа; швидкість руху рідини в трубопроводі w , м/с; трубопровід сталевий діаметром d , мм; абсолютна шорсткість матеріалу трубопроводу $\Delta = 0,10 \dots 0,15$ мм; розрахункова довжина трубопроводу l_p . (табл. 9.1).

Таблиця 9.1.

№ вар.	$P_{\text{надл}}$, кПа	w , м/с	d , мм	l_p , м
1	10	1,0	25	6
2	11	1,1	30	7
3	12	1,2	35	5
4	13	1,3	40	10
5	14	1,4	50	8
6	15	1,5	60	5
7	16	1,6	45	7
8	17	1,7	30	8
9	18	1,8	25	10
10	19	1,9	50	6

Розв'язування

1. Визначення рівня рідини в напірному резервуарі (рис. 9.1)

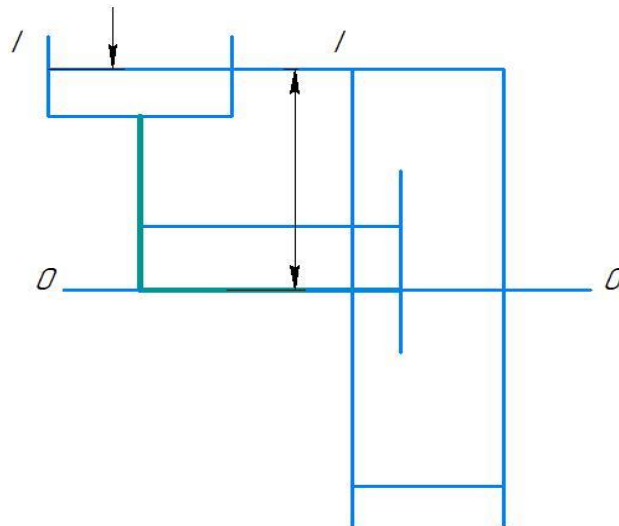


Рисунок 9.1 – Схема до задачі

Рівняння Бернуллі для перерізів I–I і II–II

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g} + h_w$$

де Z – геометричний напір, м;

$P/\rho g$ – п'єзометричний напір, м;

$\omega^2/2g$ – швидкісний напір, м;

h_w – загальні втрати напору в трубопроводі на подолання опору тертя та місцеві опори, м.

Аналіз рівняння Бернуллі відносно порівняльної площини 0-0.

Переріз I–I: $Z_1 = H$; $P_1 = P_{\text{атм}}$; $w_1 = 0$ ($H = \text{const}$).

Переріз II–II: $Z_2 = 0$; $P_2 = P_{\text{надл.}} + P_{\text{ат}}$; $w_2 = w$.

Після підстановки цих величин в рівняння Бернуллі отримують:

$$H = \frac{P_{\text{надл.}}}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} + h_w$$

1. Визначити втрати напору в трубопроводі, м:

$$h_w = \lambda \frac{l_p \omega^2}{d 2g}$$

де λ — коефіцієнт опору тертя. Для розрахунку коефіцієнта опору тертя λ треба встановити зону гідравлічного опору.

Визначають режим руху рідини. Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}$$

Визначають критичні значення критерія Рейнольдса $Re_{\text{гл}}$ і $Re_{\text{кв}}$:

$$Re_{\text{гл}} = \frac{20d}{\Delta}$$

$$Re_{\text{кв}} = \frac{500d}{\Delta}$$

При $Re < Re_{гг}$, – зона гідравлічно гладких труб, де $\lambda = f(Re)$:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

При $Re_{гг} < Re < Re_{кв}$ – зона доквадратичного опору, де $\lambda = f(Re, \Delta)$:

$$\lambda = 0,11\left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25}$$

де $\bar{\Delta}$ – відносна шорсткість: $\bar{\Delta} = d / \Delta$.

При $Re > Re_{кв}$ — зона квадратичного опору, де $\lambda = f(\bar{\Delta})$:

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta})^{0,25}$$

Задача 2. Визначити режим руху рідини в трубах і міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника для нагрівання цукрового розчину водою і намалювати схему теплообмінника. Вихідні дані: масова витрата води, що подається в між трубний простір G , т/год; середня температура води t_b , °C; середня температура цукрового розчину t_p , °C; концентрація цукрового розчину $B = 20\%$ мас; внутрішній діаметр корпусу теплообмінника D , мм; діаметр трубок $d = 30 \cdot 1,5$ мм (перша цифра означає зовнішній діаметр трубки, друга – товщину стінки трубки); кількість трубок n , шт.; швидкість руху цукрового розчину w , м/с

Таблиця 9.2

№ вар.	G , т/год	t_b , °C	D , мм	w , м/с	t_p , °C	n , шт.
1	110	80	460	0,7	60	30
2	100	70	470	0,8	50	32
3	120	85	500	0,9	55	36
4	130	75	450	1,0	50	32
5	100	80	480	1,1	60	38
6	140	70	450	1,2	50	32
7	150	85	430	1,5	65	30
8	100	75	480	0,7	50	36
9	110	70	500	1,0	45	32
10	150	80	450	0,9	60	36

Тема 10. Процес змішування.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Способи перемішування.
2. Ефективність перемішувальних пристроїв.
3. Інтенсивність перемішування.
4. Критерії оцінки якості змішування.
5. Конструкції мішалок.
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. При перемішування рідини густина якої $\rho=1200 \text{ кг/м}^3$ мішалкою с пропелерною насадкою с частота обертання $n=230 \text{ хв}^{-1}$; у посудині з перегородками при таких вихідних даних: діаметр посудини $D=1250 \text{ мм}$; в'язкість рідини $\mu=1100 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; діаметр мішалки $d=0,25D$. Визначити потужність N .

Розв'язання

1. Визначаємо діаметр мішалки, м:

$$d = 0,25D = 0,25 \cdot 1250 = 310 \text{ мм.}$$

2. Знаходимо значення критерію Рейнольдса (Re) для мішалки:

$$Re = \frac{\rho n d^2}{\mu} = \frac{1200 \cdot 230 \cdot 0,31^2}{1100 \cdot 10^{-6}} = 23,4 \cdot 10^6$$

3. Визначаємо критерій потужності K_N для посудини з перегородками. Конструктивно прийемо, що ширина перегородок $b=40 \text{ мм}$, а їх кількість складає 6.

$$K_N = 0,253 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0,1}{0,3}\right)^{1,7} \left(\frac{0,04}{0,3}\right)^{0,3} \cdot 6^{0,43} = 16,2 \cdot 10^6$$

4. Визначаємо потужність на перемішування пропелерною мішалкою за формулою

$$N = 16,2 \cdot 10^6 \cdot 1100 \cdot 10^{-6} \cdot 3,33^2 \cdot 0,31^3 = 5640 \text{ Вт} = 5,6 \text{ кВт.}$$

Задача 2. Визначити потужність N , яка витрачається на перемішування рідини пропелерною мішалкою у посудині з перегородками. Вихідні дані: частота обертання n , хв^{-1} ; діаметр посудини D , мм; в'язкість рідини μ , $\text{Па}\cdot\text{с}$; густина ρ , кг/м^3 ; діаметр мішалки $d=0,35D$ (табл. 10.1).

Таблиця 10.1

№ вар.	Задані величини			
	n , хв^{-1}	D , мм	ρ , кг/м^3	$\mu \cdot 10^{-6}$, $\text{Па}\cdot\text{с}$
1	160	1800	1050	1800
2	170	1850	1045	1600
3	180	1900	1150	1300
4	190	1700	1030	1200
5	200	1750	1080	900
6	210	2000	990	1000
7	220	1950	1120	1050
8	230	1800	890	1250
9	240	1850	1100	1110
10	250	2000	1060	1140

Тема 11. Розділення неоднорідних систем.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Методи розділення неоднорідних систем
2. Швидкість осідання
3. Фактор розділення

4. Розрахунок відстійників

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Виконати розрахунок і накреслити схему відстійника без перервної дії для освітлення водної суспензії. Під час розрахунку слід визначити швидкість осідання в гравітаційному полі w_{oc} , м/с; масу освітленої рідини G_p , кг/с; площу поверхні відстійника F , м²; діаметр апарата D , м. Вихідні дані: витрата водної суспензії G , т/год; температура суспензії t , °С; концентрація твердої фази у суспензії x_1 , % мас; концентрація твердої фази у згущеній суспензії x_2 , % мас; еквівалентний діаметр частинок d , м; густина частинок ρ_c , кг/м³ (табл. 11.1)

Таблиця 11.1

№.Вар.	G, т/год;	t, °С;	x ₁ , мас %	x ₂ ,% мас;	D 10 ⁻⁶ , м	ρ _с , кг/м ³
1	10	45	10	25	10	1150
2	11	50	11	23	15	1200
3	12	55	12	27	20	1250
4	13	60	13	24	15	1300
5	14	45	15	27	25	1100
6	15	55	16	29	10	1250
7	12	50	12	22	30	1150
8	10	55	11	24	25	1200
9	11	60	10	26	20	1250
10	13	45	13	27	25	1300

Розв'язування

1. Визначення швидкості осідання частинок.

Знаходимо критерій Архімеда (Ar) за формулою

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu_c^2} \frac{\rho_c - \rho_s}{\rho_s}$$

де ν_c – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м²/с; ρ_s – густина середовища, кг/м³; $g = 9,81$ м/с². При температурі суспензії t визначаємо по табл. Д.1 густину ρ_s , кг/м³ та коефіцієнт динамічної в'язкості μ_c , Па·с води.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища

$$\nu_c = \frac{\mu_c}{\rho_s}$$

Визначивши числове значення критерій Архімеда, знаходимо критерій Рейнольдса:

якщо $Ar \leq 36$

$$Re = Ar/18$$

якщо $84000 > Ar > 36$

$$Re = \left(\frac{Ar}{13,9} \right)^{0,714}$$

якщо $Ar > 84000$

$$Re = \sqrt{\frac{Ar}{0,33}}$$

Знаючи значення числа Re , знаходимо швидкість осідання частинок:

$$w_{oc} = \frac{Re v_c}{d}$$

2. Визначення маси освітленої рідини.

Масу освітленої рідини визначаємо з рівняння матеріального балансу:

$$G = G_0 + G_p$$

де G_0 – продуктивність відстійника по згущеній суспензії, кг/с;

G_p – продуктивність відстійника по освітленій рідині, кг/с. Знаходимо продуктивність відстійника по згущеній суспензії:

$$G_0 = G \frac{x_1}{x_2}$$

Визначаємо продуктивність відстійника за освітленою рідиною:

$$G_p = G - G_0$$

3. Визначення площі поверхні відстійника, m^2

Визначення діаметра відстійника.

Для відстійника циліндричної форми $F = \pi D^2 / 4$,

де D – діаметр відстійника, м,

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$$

Задача 2. Розрахувати і накреслити схему з нанесенням основних параметрів барабанного вакуум-фільтра для фільтрування суспензії. Під час розрахунку визначити площу поверхні барабанного вакуум-фільтра F , m^2 ; витрату отриманого фільтрату G_f , кг/с; тривалість повного циклу фільтрування τ , с; частоту обертання n , об/хв; ступінь занурення барабана в суспензію, ϕ . Вихідні дані: витрата суспензії G_c , кг/с; вміст твердої фази в суспензії x_1 , мас %; густина суспензії ρ_c , kg/m^3 ; товщина шару осаду h_{oc} , мм; вологість осаду w , мас %; питомий опір осаду r_{oc} , m^{-2} ; опір фільтрувальної перегородки $R_{пер}$, m^{-1} ; густина фільтрату ρ_f , kg/m^3 та його в'язкість μ_f , Па·с; в'язкість фільтрату під час промивання $\mu_{пр}$, Па·с (табл. 11.2). Питома витрата води на промивання осаду становить $v = 1,5 \cdot 10^{-4} m^3$ на 1 кг вологого осаду. Перепад тисків при фільтруванні та промиванні дорівнює $\Delta p = 0,64 \cdot 10^5$ Па. Густина твердої фази осаду $\rho_t = 2100 kg/m^3$.

Таблица 11. 2

№ Вар.	G_c , кг/с	x_1 , мас %	ρ_c , kg/m^3	h_{oc} , мм	$r_{oc} \cdot 10^{-12}$, m^{-2}	$R_{пер} \cdot 10^{-10}$, m^{-1}	ρ_f , kg/m^3	$\mu_f \cdot 10^4$, Па·с	$\mu_{пр} \cdot 10^4$, Па·с	W , мас %
1	8.5	18	1750	8	11	13	1040	5,9	4	45
2	9	19	1800	9	12	13,5	1050	6	4.5	46

3	9,5	17	1850	10	13	14	1055	6,2	4.6	47
4	10	20	1900	11	14	14,5	1060	6,3	4.8	48
5	8	17	1950	12	15	15	1065	6,5	5	49
6	9	19	2000	13	16	14	1070	7	4.6	50
7	10	18	1900	15	17	13	1075	7,3	4.9	51
8	8,5	20	1800	10	15	12	1080	7,2	4	46
9	9,5	17	1850	9	16	11	1060	6,8	5	47
10	9	19	2000	14	14	15	1050	6	5.5	49

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ

Тема 12. Подрібнювально-різальне обладнання.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Призначення подрібнювально-різальне обладнання.
2. Робочі інструменти.
3. Режими різання.
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Задача. Продуктивність вовчків можна визначити по пропускній спроможності ріжучого або живильного механізму, а також по ріжучій спроможності подрібнюючого механізму. Пропускна спроможність вовчка, Q_m кг/год визначається за формулою

$$Q_m = \frac{m}{\tau_{\text{ВК}} \times z_{\text{ВК}} \times z_{\text{ЗМ}}}$$

де m – маса м'яса, яку необхідно подрібнити, кг;

$\tau_{\text{ВК}}$ – час роботи машини за одне включення, год;

$z_{\text{ВК}}$ – кількість включень машини за зміну;

$z_{\text{ЗМ}}$ – кількість змін роботи машини.

Пропускна спроможність елементів подрібнювача у різних перетинах потоку повинна відповідати таким вимогам

$$Q_i = Q_1 \leq Q_2 \leq Q_3 \leq Q_4$$

де Q_i – необхідна технологічна пропускна спроможність машини, кг/год;

Q_1 – пропускна спроможність завантажувального вікна, кг/год ;

Q_2 – пропускна спроможність постачального шнека, кг/год ;

Q_3 – пропускна спроможність шнека у зоні пресування, кг/год ;

Q_4 – пропускна або ріжуча спроможність ріжучого апарата, кг/год.

Пропускна спроможність ріжучого апарата визначається за формулою

$$Q_4 = 3600 \cdot A_{o(i)} \cdot v_o \cdot \rho_n \cdot \psi_i$$

де $A_{o(i)}$ – сумарна площа отворів в першій ножовій решітці, а також в кожній наступній (i), м^2 ;

v_o – швидкість руху продукту крізь отвори першої ножової решітки, м/с;

ρ_n – густина м'яса в зоні пресування, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ψ_i – коефіцієнт використання площі отворів ножової решітки;

i – кількість ножових решіток.

$$\rho_n = \rho \cdot k_1$$

де ρ – насипна густина м'яса;

k_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь ущільнення м'яса;

Якщо конструкція вовчка має роздільні приводи постачального шнека та ножів і частота обертання ножів не дорівнює частоті обертання постачального шнека ($n_n \neq n_{\text{ш}}$), доцільніше визначати пропускну спроможність за наступним виразом

$$Q_4 = 3600 \cdot a \cdot (A/A_p)$$

де α – коефіцієнт використання ріжучої спроможності механізму;

A – ріжуча спроможність механізму, m^2/c ;

A_p – питома поверхня одиниці маси продукту після подрібнення, m^2/kg .

Коефіцієнт використання ріжучої спроможності механізму α приймається у межах $\alpha = 0,7 \dots 0,8$

$$A = \frac{\pi \times n_n \times D_p^2}{240} (\psi_1 \cdot Z_1 + \psi_2 \cdot Z_2 + \dots + \psi_n \cdot Z_n)$$

де n_n – частота обертання ножа, об/хв.;

D_p – діаметр решітки, м;

Z – кількість лез на кожному з ножів, $Z = 2 \dots 4$;

ψ – коефіцієнт використання площі отворів кожної решітки.

Значення ψ і A_p в залежності від діаметрів отворів ножових решіток вибираються з таблиці 12.1

Таблиця 12.1 Рекомендовані значення ψ і A_p

Діаметр отвору решітки, мм	20...25	12...16	2...5
Коефіцієнт ψ	0,8...0,85	0,7...0,75	0,5...0,55
Питома поверхня A_p , m^2/kg	0,2...0,1	0,7...0,6	1,2...1,1

У більшості машин частота обертання ножів, n_n дорівнює частоті обертання шнека, $n_{ш}$ і її значення знаходиться у діапазоні від 60 до 300 об/хв. З метою спрощення розрахунку можна прийняти наступне співвідношення:

$$Q_m = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$$

Тоді з формул та визначається діаметр ножової решітки

$$D_p = \sqrt{\frac{Q_4 \times A_p}{15\pi \times n_n \times a (\psi_1 \times Z_1 + \psi_2 \times Z_2 + \dots + \psi_n \times Z_n)}}$$

При визначенні діаметра ножових решіток промислових вовчків слід пам'ятати, що він повинен знаходитися у межах від 80 до 200 мм.

Якщо ж отриманий розрахунковий показник діаметра не увійшов до заданого інтервалу значень необхідно змінити значення частоти обертання ножа (n_n), або показника (A_p).

Враховуючи, що згідно з $Q_3 = Q_4$ значення пропускної спроможності у зоні пресування можна визначити з виразу

$$Q = 3600 \cdot A_n \cdot v_n \cdot \rho_n$$

де A_n – площа перерізу фаршу в зоні пресування, m^2 ;

v_n – швидкість руху м'яса вздовж шнека в зоні пресування, м/с.

$$A_n = \frac{\pi(D_3^2 - D_B^2)}{4}$$

де D_3 – зовнішній діаметр шнека, м;

D_B – внутрішній діаметр шнека, м.

При розрахунках попередньо приймають $D_3 = D_p$ і $D_B = (0,3 \dots 0,5) D_3$.

$$v_n = \frac{1}{60} \times S_{пш} \times n_{ш} \times K_B \times K_n$$

де $S_{пш}$ – крок шнека у зоні пресування, м;

K_b – коефіцієнт, що враховує товщину витків та їх профіль,;
 K_n – коефіцієнт, що враховує обертання продукту разом зі шнеком.

$$S_{\text{шш}} = S_{\text{ош}} / k_1$$

де $S_{\text{ош}}$ – крок шнека в зоні приймання сировини, м;

k_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь ущільнення м'яса.

Приймається $K_b = 0,7 \dots 0,9$, $K_n = 0,35 \dots 0,4$ і $k_1 = 0,5 \dots 0,7$.

$$S_{\text{ош}} \geq 2M$$

де M – модуль шматка м'яса до подрібнення, м.

Терміном модуль (M) позначається граничний розмір шматка м'яса

$$M = 1,26 \sqrt[3]{abc}$$

де a, b, c – відповідно довжина, товщина та висота шматка м'яса, м.

Уточнене значення діаметра вала шнека

$$D_b = \sqrt{D_3^2 - \frac{4Q_3}{3600\pi \times v_n \times p}}$$

З умов забезпечення міцності та найменшої металоємності

$$D_b = (0,3 \dots 0,4) D_3$$

Якщо ця умова не виконується, необхідно змінити частоту обертання шнека ($n_{\text{ш}}$), коефіцієнти K_b і K_n або застосувати роздільний привод шнека та ножів, тобто ($n_{\text{ш}} \neq n_n$).

Сумарна площа отворів $A_{o(i)}$ кожної i -тої ножової решітки розраховується за формулою

$$A_{o(i)} = \frac{\pi \times d_{o(i)}^2}{4} \times z_{o(i)}$$

де $d_{o(i)}$ – діаметр отворів i -тої ножової решітки, м;

$z_{o(i)}$ – кількість отворів i -тої ножової решітки.

Сумарну площу отворів можна також визначити за наступним виразом

$$A_{o(i)} = \frac{\pi(D_3^2 - D_b^2)}{4} \times \varphi_{o(i)}$$

де $\varphi_{o(i)}$ – коефіцієнт використання робочої площі i -тої решітки.

При діаметрі отворів ножових решіток $\varnothing 20 \dots 25$ мм $\varphi_{o(i)} = 0,7 \dots 0,8$;
 $\varnothing 12 \dots 16$ мм $\varphi_{o(i)} = 0,6 \dots 0,7$; $\varnothing 2 \dots 5$ мм $\varphi_{o(i)} = 0,5 \dots 0,6$.

Кількість отворів у кожній решітці визначається за формулою

$$z_{o(i)} = \frac{(D_3^2 - D_b^2) \times \varphi_{o(i)}}{d_{o(i)}}$$

Ширина завантажувального вікна, як правило, приймається рівною зовнішньому діаметру шнека

$$B_b = D_3$$

Довжина завантажувального вікна повинна бути не меншою, ніж крок шнека у зоні завантаження і може бути визначена за виразом

$$L_b \geq S_{\text{ош}} = (2 \dots 3) M$$

Довжина шнека розраховується за формулою

$$L_{\text{ш}} = S_{\text{ош}} \times K_2 + S_{\text{шш}} \times K_3 + S_{\text{сп}} \times K_4$$

де K_2 – коефіцієнт, враховуючий перекриття завантажувального вікна;

K_3 – коефіцієнт, що враховує кратність транспортування сировини в зоні ущільнення;

K_4 – коефіцієнт, що враховує кратність транспортування сировини по перехідній ділянці;

S_{cp} – середній крок шнека, м

Значення означених коефіцієнтів приймаються у наступних межах:
 $K_2=1,1\dots2,0$; $K_3=1,3\dots2,5$; $K_4=1,28\dots2,5$.

Середній крок шнека визначається за формулою

$$S_{cp} = \sqrt{S_{ош}^2 + S_{пш}^2 - S_{ош} \times S_{пш}}$$

При розрахунку довжини шнека слід пам'ятати, що його надмірна довжина веде до додаткових енерговитрат, підвищення вартості подрібнювача, а зменшення довжини шнека приводить до порушення процесу подрібнювання по причині зниження транспортуючої спроможності шнека. Потужність потрібна на функціонування вовчка складається з суми трьох головних складових: потужність потрібна на подрібнення продукту, на подолання тертя у рі-жучому механізмі і на просування продукту та на подолання тертя шнека з продуктом.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

де P_1 – потужність потрібна на подрібнення продукту, Вт;

P_2 – потужність на подолання тертя у ріжучому механізмі, Вт;

P_3 – потужність потрібна на просування продукту та на подолання тертя продукту зі шнеком, Вт.

$$P_1 = \frac{1}{60} A_n (\psi_1 + 2\psi_2 + \psi_3) n_n \times a \times Z$$

де ψ_1, ψ_2, ψ_3 – коефіцієнт використання площі приймальної, проміжної та вихідної ножової решітки;

n_n – частота обертання ножів, об/хв;

a – питомі витрати енергії на перерізання продукту, Дж/м² ;

Z – кількість лез на кожному з ножів, $Z = 2\dots4$. Значення питомих витрат енергії на перерізання продукту приймається у межах $a = (2,5\dots3,5) \cdot 10^3$ Дж/м².

$$P_2 = \frac{1}{60} \pi \times F_3 \times n_n \times f \times K_n (r_{max} + r_{min})$$

де F_3 – зусилля затягу ріжучого механізму, Н;

f – коефіцієнт тертя ковзання ножа по решітці;

K_n – кількість площин різання. Коефіцієнт тертя ковзання ножа по решітці у присутності продукту, що подрібнюється приймається $f = 0,1$.

$$F_3 = p \times A \times Z$$

де p – середній тиск на поверхні контакту ножа та решітки, Па;

A – площа контакту леза ножа та решітки, м² .

$$A = b \times (r_3 - r_b) Z_i$$

де b – ширина площини контакту леза та решітки, м $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$;

r_3, r_b – зовнішній та внутрішній радіуси ножа, м.

При розрахунках приймають $p = (2\dots3) \cdot 10^6$ Па, $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м, зовнішній та внутрішній радіуси ножа рівними відповідним радіусам шнека.

$$P_3 = \frac{\pi^2 \times n_{\text{ш}}}{90} p_0 \times \gamma [(r_3^3 - r_b^3) \times f_1 + 0,24 \times S_{\text{ср}} \times (r_3^2 - r_b^2)]$$

де p_0 – тиск за останнім витком шнека, Па, $P_0=3,0 \cdot 10^5 \dots 5,0 \cdot 10^5$;

γ – кількість витків шнека,

f_1 – коефіцієнт тертя продукту по шнеку.

При розрахунках приймається значення тиску $p_0 = (3 \dots 5) \cdot 10^5$ Па; число витків $\gamma = 6$ (оптимальна кількість витків шнека з точки зору вартості та якості транспортування продукту) і $f_1 = 0,3$;

Потрібна потужність електродвигуна дорівнює

$$P_{\text{ед}} = P/\eta$$

де η – загальний ККД передач привода, $\eta = 0,8 \dots 0,85$.

Для привода вовчка, як правило, застосовують асинхронні трьохфазні електродвигуни з короткозамкненим ротором і синхронною частотою обертання 1000...1500 об/хв.

Після вибору електродвигуна визначається загальне передаточне відношення привода

$$U = n_{\text{ед}}/n_{\text{ш}}$$

де $n_{\text{ед}}$ – номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв.;

$n_{\text{ш}}$ – частота обертання шнека, об/хв.

В більшості конструкцій вовчків вітчизняного та закордонного виробництва з однаковою частотою обертання шнека і ножового пристрою привод складається з двох ступіней – клинопасової і зубчастої передачі. Якщо ж частота обертання шнека і ножів повинна бути різною, то кількість ва-ріантів компонування привода зростає. Наприклад для роздільного привода шнека і ножів від одного електродвигуна при-вод вовчка К6-ФВП-160 має два клинопасових контури, що забезпечують частоту обертання подаваль-ного шнека 205 об/хв., а ножів 500 об/хв. Застосування схеми з двома джере-лами енергії спрощує механічну частину привода. Доцільно застосовувати в приводі вовчка мотор-редуктори, що збільшує ступінь уніфікації частин при-вода, поліпшує дизайн. Після вибору мотор-редуктора слід уточнити час обертання шнека та ножів, перевірити відповідність технологічних парамет-рів машини параметрам технічного завдання на проектування. Якщо відхи-лення не перевищує 5%, то результат вважають задовільним.

Задача 2. Визначити діаметр ножової решітки вовчка, якщо Пропускна спроможність вовчка, Q_m кг/год, Z - кількість лез на кожному з ножів, A – ріжуча спроможності механізму, m^2 /c ; ψ - коефіцієнт використання площі от-ворів кожної решітки, n_n – частота обертання ножа, об/хв. (табл. 12.2).

Таблиця 12.2

№ вар.	Q_m кг/год	ψ -	$A, m^2 /c$	$n_n, об/хв$	Z
1	250	0,5	0,5	240	2
2	300	0,6	0,6	260	4
3	350	0,7	0,8	280	2
4	400	0,55	1	300	4
5	500	0,65	0,9	200	2

6	250	0,5	0,8	280	2
7	300	0,6	1	300	4
8	350	0,7	0,9	200	2
9	400	0,55	0,5	240	4
10	500	0,65	0,6	260	2

Тема 13. Процес сорбції.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Абсорбція.
2. Адсорбція
3. Класифікація і конструкції абсорберів
4. Десорбція
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. У ферментері для культивування мікроорганізмів діаметром D за тиску p , кПа і температури t , °C потрібно абсорбувати з повітря, що подається через барботер, M , кг кисню за годину при ступені поглинання кисню x , %. Визначити питому витрату повітря на барботер у $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \text{ год})$. (Вміст кисню у повітрі $y = 0,21$) (табл. 13.1).

Таблиця 13.1

№ вар.	D , м	p , кПа	t , °C	M , кг	x , %.
1	0,85	100	20	0,45	50
2	0,9	110	22	0,5	52
3	0,95	120	23	0,55	53
4	1,0	125	25	0,6	55
5	1,05	130	26	0,7	57
6	0,85	100	22	0,6	52
7	0,9	110	23	0,65	53
8	0,95	120	25	0,45	55
9	1,0	125	20	0,5	56
10	1,05	130	22	0,55	50

Розв'язання.

Перерахуємо початкову мольну частку кисню у повітрі у відносну масову:

$$\bar{Y}_n = \frac{M_{O_2} y}{M_{N_2} (1 - y)} = 0,304 \text{ кг}$$

Кінцева відносна масова концентрація кисню:

$$\bar{Y}_k = \bar{Y}_n (1 - x)$$

Масова витрата повітря

$$G = \frac{M}{\bar{Y}_n - \bar{Y}_k}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V = G / \rho_y$$

де ρ_y – густина повітря, кг/м³,

Площа перерізу ферментера:

$$S = \pi D^2 / 4$$

Питома витрата повітря на барботер:

$$V_{\text{пит}} = V / S$$

Задача 2. Визначити коефіцієнт масопередачі у водяному скрубєрі при поглинанні з газу CO₂. В скрубєр поступає V_{п.сум.}, м³/год. газової суміші при атмосферному тиску і подається W, м³/год. чистої води. Початковий вміст CO₂ в газі у_{п. со2}, % (об'ємних), кінцевий вміст (в верху скрубєра) у_{к. со2}, % (об'ємних). Тиск у скрубєрі Р_{абс.}, ат. Температура, t, °С. В нижню частину скрубєра завантажено G₁, т керамічних кілець 45x45x5 мм. Вище завантажено G₂, т кілець 35x35x4 мм. Коефіцієнт змоченості рахувати рівним одиниці (табл. 13.2).

Таблиця 13.2

№ вар.	V _{сум} , М ³ /год	W, М ³ /год	У _п , СО ₂ ,%	У _к , СО ₂ ,%	Р _{абс.} , ат	t, °С	G ₁ , т	G ₂ , т
1	4500	600	27	0,17	17	19	2,7	15
2	4300	610	25	0,16	14	20	2,5	16
3	4200	620	26	0,15	15	17	2,8	17
4	4250	630	28	0,16	16	15	2,7	15
5	4600	650	24	0,18	18	16	2,6	18
6	4500	600	27	0,17	16	15	2,4	19
7	4300	610	25	0,16	18	16	2,7	15
8	4200	620	26	0,15	17	19	2,5	16
9	4250	630	28	0,16	14	20	2,8	17
10	4600	650	24	0,18	15	17	2,7	15

Тема 14.Екстракція.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Процесам екстрагування в системі тверде тіло – рідина та рідина – рідина.
2. Переваги і недоліки різних процесів екстрагування.
3. Коефіцієнт дифузії і коефіцієнт масовіддачі.
4. Способи інтенсифікації масообмінних та екстракційних процесів.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Визначити вихід сивушної олії, підсивушної рідини і витрати води на екстрагування стандартної сивушної олії при температурі 20°C зі 100 кг суміші складу (в %): сивушної олії-65, етанолу-15, води-20 згідно точці М'' на рисунку 14.1.

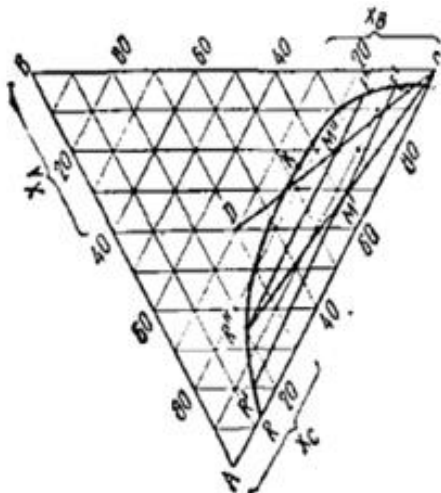


Рисунок 14.1 – Зображення процесу екстракції на трикутній діаграмі.

Розв'язання.

З'єднавши точку R'' з вершиною C трикутника, отримаємо лінію зміщення R''C. Точка M на перетині з конодою R'E характеризує утворення нової суміші. Точка R характеризує склад стандартної сивушної олії: сивушної олії -80%, етилового спирту 5,6%, води-14,4%. Склад під сивушної рідини характеризується точкою E: сивушної олії-3,6%, спирту- 8,6%, води-86,7%.

Необхідну кількість води на промивку 100 кг сивушної суміші складу R'' для отримання стандартної сивушної олії R згідно формулі буде:

$$G_B = G_{CM} R'' M / M' C = 100 * 26 / 27 = 96,3 \text{ кг}$$

Маса отриманої суміші:

$$G_{CM} = G_{CM} + G_B = 100 + 96,3 = 196,3 \text{ кг}$$

Кількість підсивушної рідини:

$$G_E = \frac{G_{CM} R' M'}{R' E'} = \frac{196,7}{33,5} = 119,7 \text{ кг}$$

Кількість стандартної сивушної олії:

$$G_R = G_{CM} - G_E = 196,3 - 119,7 = 76,3 \text{ кг}$$

Задача 2. Визначити лімітуючу стадію процесу прямиотечійного вилучення цільового компонента чистим екстрагентом, визначивши критерій Біо для часток сферичної форми R, м. Об'ємні витрати твердої фази та рідини V_r , V_p , $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \text{ с})$. Густина та в'язкість екстрагента ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, μ , $\text{Па} \cdot \text{с}$. Поруватість часток $\varepsilon_r = 0,45$ і порозність шару дисперсної фази $\varepsilon = 0,5$. Коефіцієнт дифузії цільового компонента в екстрагенті $D = 5,33 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}$. (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

№ вар.	R, 10 ⁻³ м.	V _т , м ³ / (м ² с).	V _р , м ³ / (м ² с).	ρ, кг/м ³	μ, 10 ⁻³ Па·с.
1	0,75	0,0025	0,004	1050	1,10
2	0,8	0,0023	0,0035	1100	1,15
3	0,85	0,0035	0,003	1150	1,2
4	0,7	0,004	0,0025	1200	1,25
5	0,65	0,002	0,0023	1250	1,3
6	0,75	0,0025	0,004	1050	1,10
7	0,8	0,0023	0,0035	1100	1,15
8	0,85	0,0035	0,003	1150	1,2
9	0,7	0,004	0,0025	1250	1,25
10	0,65	0,002	0,0023	1200	1,3

Розв'язання.

1. Визначимо значення критерія Прандтля:

$$Pr_d = \mu / \rho D$$

2. Швидкість руху рідини в зазорах між частинками:

$$w = V_p / \varepsilon, \text{ м/с.}$$

Лінійна швидкість дисперсного матеріалу:

$$v = V_t / (1 - \varepsilon) \text{ м/с}$$

3. Розраховуємо значення критерія Рейнольдса:

$$Re = \frac{(\omega - v) 2R\rho}{\mu}$$

4. Розраховуємо значення критерія Нуссельта за критеріальним рівнянням:

$$Nu = 0,8 Pr^{1/3} Re^{1/2}$$

5. Коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta = Nu D / 2R \text{ м/с.}$$

6. Розраховуємо значення дифузійного критерія Біо:

$$Bi_d = \beta R / D_c$$

де $D_c = \varepsilon_t D$ – еквівалентний коефіцієнт дифузії у пористому матеріалі.

Тема 15. Біохімічні процеси.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Швидкість ферментивних реакцій.
2. Миттєва продуктивність.
3. Математичні моделі росту біомаси.
4. Ферментери безперервної дії
 2. Опитування.
 3. Практичні завдання.

Приклад розв'язування завдання.

Задача 1. Розрахувати продуктивність біореактора (ферментера) з робочим об'ємом V , m^3 та потоком живильного середовища за біомасою v , m^3 /год., якщо процес культивування описується моделлю рівняння логістичної кривої (питома швидкість росту біомаси складає $\mu = 0,15$ год $^{-1}$, кінцева концентрація абсолютно сухої біомаси $X_K = 40$ кг/ m^3). Під час процесу потік культуральної рідини спрямовують у сопловий сепаратор, що відділяє клітинну біомасу від нативного розчину. Концентрат біомаси на виході з сепаратора в $1 m^3$ містить G кг клітинної маси. Клітинна маса містить 70 % води. Припускається, що $2 m^3$ концентрату повернули у ферментер, а решту концентрату, а також фугат, спрямували на вихід з установки (табл. 15.1).

Таблиця 15.1

№ вар.	V , m^3	v , m^3 /год	G , кг
1	800	25	90
2	900	26	90,5
3	1000	30	91
4	1200	35	91,5
5	1500	25	92
6	1000	30	91
7	1600	35	90
8	1700	40	90,5
9	1800	25	91,5
10	2000	30	90

Розв'язання.

Коефіцієнт розбавлення для першого варіанта роботи установки становить $D = v/V$, год $^{-1}$. Поточна концентрація біомаси (абсолютно сухої) на виході з ферментера $X = X_K - (X_K / \mu) D$, кг/ m^3 . Продуктивність установки за біомасою становитиме $X_G = X v$, кг/год. При поверненні частини біомаси вхідний потік у ферментер буде становити $v_{п} = v + 2$, m^3 /год. Маса абсолютно сухої біомаси, що повертається у ферментер, буде становити $M_{п} = 2 G 0,3$, кг/год. Нехтуючи залишками субстрату в концентраті біомаси, теоретично з нового потоку може утворитись біомаса з концентрацією $X_K = (X_K v + M_{п}) / v_{п}$, кг/ m^3 . На вході у ферментер концентрація біомаси буде становити $X_1 = M_{п} / v_{п}$, кг/ m^3 . Новий коефіцієнт розбавлення дорівнюватиме $D_2 = v_{п} / V$, год $^{-1}$. Нову поточну концентрацію на виході з ферментера розраховуємо за рівняння

$$X_2 = \frac{(\mu - D_2)X_K + X_K \sqrt{(\mu - D_2)^2 + 4\mu X_1 D_2 / X_K}}{2\mu} \text{ кг/м}^3$$

Всього продуктивність за сухою біомасою на виході з ферментера буде становити $\Pi = X_2 v_{п}$, кг/год. Оскільки у ферментер повертається $M_{п}$ кг/год сухої біомаси, то загальна продуктивність установки зростає до $\Pi_1 = \Pi - M_{п}$, кг/год.

Задача 2. Розрахувати об'єм ферментерів періодичної дії, якщо процес культивування відповідає моделі РЛК, питома швидкість росту μ , початкова та кінцева концентрація X_{Π} і $X_{\text{к}}$, ступень конверсії 80 %, додатковий час культивування $\tau_{\text{д}}$. Кінцевим продуктом є далі оброблена біомаса. Коефіцієнти виходу K_1 , браку K_2 , заповнення K_3 . Потужність виробництва N (табл. 15.2).

Таблиця 15. 2

№ вар.	μ , год ⁻¹	X_{Π} , кг/м ³	$X_{\text{к}}$, кг/м ³	$\tau_{\text{д}}$, год.	K_1	K_2	K_3	N , 10 ⁶ кг/рік
1	0,1	0,01	35	18	0,6	0,7	0,61	8
2	0,11	0,015	40	19	0,65	0,71	0,62	9
3	0,12	0,02	45	20	0,67	0,72	0,63	10
4	0,1	0,01	50	21	0,7	0,73	0,64	12
5	0,12	0,015	40	17	0,63	0,75	0,65	15
6	0,11	0,02	35	18	0,6	0,7	0,61	8
7	0,1	0,01	40	19	0,65	0,71	0,62	9
8	0,12	0,015	45	20	0,67	0,72	0,63	10
9	0,11	0,02	50	21	0,7	0,73	0,64	12
10	0,1	0,01	40	17	0,63	0,75	0,65	15

Розв'язання.

Знаходимо чистий час культивування

$$X = \frac{X_{\Pi} X_{\text{к}}}{X_{\Pi} + (X_{\text{к}} - X_{\Pi}) e^{-\mu \tau}}$$

Звідки знаходимо τ

Повний об'єм ферментерів

$$V = \frac{(\tau + \tau_{\text{д}}) N}{K_1 K_2 K_3 X_{\Pi}}$$

**ЧАСТИНА 3.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕПЛОВІ ТА МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Тема 1. Основи конструювання апаратів. Основи теорії подібності.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Якість машини визначається за допомогою вибіру

- A. ціни
- B. головних властивостей (критеріїв ефективності)
- C. високого ККД
- D. критеріїв потужності

Однією із важливих особливостей сучасного виробництва нової техніки є бажання до

- A. мінімальної ціни
- B. високої надійності
- C. максимальної потужності
- D. максимальної уніфікації та стандартизації

Додаткові показники технічного рівня включають

- A. показники рівня автоматизації (коефіцієнт автоматизації);
- B. економічні показники
- C. показники стандартизації та уніфікації (коефіцієнт застосування, коефіцієнт повторності)
- D. всі відповіді вірні

Основним критерієм оптимальності конструкції є

- A. рівень собівартості
- B. рівень якості
- C. рівень оригінальності
- D. немає вірної відповіді

Розрахунковий етап оцінки технічного рівня виробу

A. $q_i = \frac{P_i}{P_{ai}}$

B. $q_i = k \frac{P_i}{P_{ai}}$

C. $q_i = \frac{P_i}{P_{ai}} + 1$

D. $q_i = \frac{P_i}{P_{ai}} - 1$

Оцінка якості машини відбувається в два етапи

- A. експертний та розрахунковий
- B. розрахунковий та корисний
- C. експертний та кошторисний
- D. немає вірної відповіді

Експертний етап передбачає порівняння значень основних показників

- A. швидкості
- B. тиску
- C. технічного рівня виробу
- D. надійності

Величина, пропорційна відношенню сил тиску до сил інерції

- A. число Авагадро
- B. число Ейлера
- C. число Нуссельта
- D. число Рейнольдса

Величина, пропорційна відношенню сил інерції до сил тяжіння

- A. число Фруда
- B. число Ейлера
- C. число Нуссельта
- D. число Рейнольдса

Рівняння кривої подібних режимів

- A. $H=sQ$
- B. $H=sQ^2$
- C. $H=sQ^3$
- D. $H=sQ^4$

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Діафрагма розмірами $d = 100$ м та $D = 200$ мм, призначена для вимірювання витрати повітря, тарується шляхом випробування на воді. В результаті

випробувань отримано, що мінімальна витрата води, починаючи з якої коефіцієнт витрати діафрагми залишається постійним $Q_{\min} = 16$ л/с, і при цьому показання ртутного дифманометра, що вимірює перепад тисків на діафрагмі, $h_{рт} = 45$ мм. Визначити Q_{\min} під час роботи діафрагми на повітрі. Знайти відповідне цій витраті повітря показання водяного дифманометра h_v , приєднаного до діафрагми у тих самих точках. Кінематична в'язкість води $\nu = 10^{-2}$ Ст, динамічна в'язкість повітря $\mu = 1,82 \cdot 10^{-4}$ Па·с та його щільність $\rho = 1,166$ кг/м³. Вказівка. Значення витрати Q_{\min} при роботі діафрагми на різних рідинах відповідає однакове число Рейнольдса.

2. Обчислити для умов задачі №2 товщину гідродинамічного прикордонного шару та значення місцевих коефіцієнтів тепловіддачі на відстані від передньої кромки пластини $x = 0,1l_0$; $x = 0,2l_0$; $x = 0,5l_0$ та $x = l_0$. Побудувати графік залежності товщини гідродинамічного прикордонного шару δ_x та коефіцієнта тепловіддачі на відстані x/l_0

3. Запобіжний клапан діаметром D_0 при відкритті $h_m = 2$ мм пропускає витрату олії Q_0 під перепадом тисків $\Delta p_0 = p_1 - p_2 = 1$ МПа. При цьому сила тиску на клапан P_0 . Як слід змінити діаметр клапана, щоб при збільшенні витрати тієї ж рідини в 4 рази необхідний перепад тисків збільшився тільки в 2 рази? Знайти відкриття клапана h і на нього силу P . Скористатися співвідношенням $h/h_0 = D/D_0$. Вважати, що клапан працює у квадратичній зоні опору. Відповідно до варіанту значення D_0 , Q_0 і P_0 беруться з таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

№ вар.	Діаметр D_m , мм	Витрата олії Q_m , л/с	Сила тиску P_0 , Н
1	10	5	45
2	12	7	50
3	15	8	60
4	13	9	55
5	14	10	40
6	15	8	60
7	13	9	55
8	10	5	40
9	12	7	45
10	15	8	50

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф.

І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 2. Холодильні машини та агрегати в харчовій промисловості.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Найбільш розповсюджений засіб охолодження і заморожування харчових продуктів відбувається в

- A. вакуумі
- B. повітряному середовищі
- C. рідкому середовищі
- D. крижаному

Кріоскопічною температурою називають температуру

- A. повне замерзання рідкої фази продуктів.
- B. початку замерзання рідкої фази продуктів.
- C. кінець замерзання рідкої фази продуктів.
- D. немає вірної відповіді

Критерій подібності Ві (Біо)

- A. $V_i = \alpha R \lambda$
- B. $V_i = \alpha R / \lambda$
- C. $V_i = (\alpha + R) \lambda$
- D. $V_i = (\alpha - R) / \lambda$

Процес зменшення тиску у рухомому усталеному потоці газу або водяної пари при проходженні його через перешкоду у вигляді вентиля, засувки, шайби, крана, клапана, діафрагми тощо, називається

- A. процес втрати енергії
- B. процес розширення
- C. дроселюванням
- D. процесів витікання водяної пари

Дійсна холодопродуктивність компресора

- A. $Q_d = V_n \lambda q v$
- B. $Q_d = V_n \lambda q / v$
- C. $Q_d = V_n (\lambda + q) v$
- D. $Q_d = V_n \lambda - q v$

Апарат для заморожування харчових продуктів із зануренням їх у ванну з рідким азотом називається

- A. контактним апаратом
- B. імерсійним апаратом
- C. кріогенним апаратом
- D. холодильним апаратом

Теплове навантаження на конденсатор багато в чому залежить від

- A. площі поверхні конденсатора
- B. різниці температур між охолоджуючим середовищем і пароподібним
- C. інтенсивності потоку охолоджуючого середовища, що протікає через конденсатор
- D. всі відповіді вірні

В випарнику шар інею, володіючи термічним опором, знижує коефіцієнт теплопередачі на

- A. 5...10%:
- B. 10...15%:
- C. 15...20%:
- D. 25...30%:

Зменшити тривалість охолодження можна зниженням температури тепловідводного середовища нижче

- A. критичної
- B. кріоскопічної
- C. середньої
- D. максимальної

Практика і техніко-економічні розрахунки систем охолодження свідчать, технічно і економічно не виправдана швидкість руху повітря поблизу поверхні продукту більше

- A. 3...5 м/с
- B. 5...7 м/с
- C. 7...9 м/с
- D. 9...12 м/с

**Коли теплообмін на поверхні доповнюється випаровуванням
вологи з поверхні продукту, коефіцієнт тепловіддачі**

- A. зростає
- B. зменшується
- C. незмінюється
- D. змінюється частково

**Двоступінчасті або тріступінчасті машини застосовуються для
одержання**

- A. економії
- B. низьких температур
- C. більшої потужності
- D. надійності

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Потужність газоохолодника теоретичної повітряної ХМ становить 500 кВт. Визначити холодовидатність, потужності компресора і детандера, холодильний коефіцієнт і ексергетичний ККД, якщо температура в холодильній камері (-12°C), температура навколишнього середовища 17°C , а стиск повітря здійснюється до збільшення густини в 3,8 рази.

2. В теоретичному циклі ХМ циркулює $3600\text{ м}^3/\text{год.}$ повітря, температура якого за детандером складає 192 К. Визначити холодовидатність, потужності детандера і компресора, холодильний коефіцієнт і ексергетичний ККД, якщо: температура в холодильній камері та в навколишньому середовищі (-25) і $+20^{\circ}\text{C}$, відповідно, а тиск перед компресором – 760 мм.рт.ст.

3. Потужність газоохолодника холодильної машини дорівнює 440 кВт, а витрата повітря $74000\text{ м}^3/\text{год.}$; параметри навколишнього середовища: $P_{\text{нс}} = 765\text{ мм.рт.ст.}$; $\rho_{\text{нс}} = 1,25\text{ кг/м}^3$. Визначити холодовидатність, потужності компресора і детандера, холодильний коефіцієнт і ексергетичний ККД, якщо температура повітря в холодильній камері складає (-10°C).

4. Холодовидатність теоретичної повітряної ХМ складає 185 кВт, а підігрів повітря в холодильній камері 65°C . Визначити потужності газоохолодника, компресора і детандера, холодильний коефіцієнт і ексергетичний ККД, якщо температура в холодильній камері (-12°C), а тиск в детандері зменшується в чотири рази.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред.

проф. І.Ф. Малержика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малержик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малержика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 3. Теплообмінні апарати

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Рушійною силою теплових процесів є:

- A. різниця температур середовищ
- B. різниця тиску середовищ
- C. різниця щільності середовищ
- D. всі відповіді вірні

Вхід та вихід теплообмінного апарата визначається:

- A. за рухом гарячого теплоносія.
- B. за рухом холодного теплоносія.
- C. за рухом основного теплоносія.
- D. немає вірної відповіді

Рівняння теплопередачі:

- A. $Q=K\Delta tF$
- B. $Q=K-\Delta tF$
- C. $Q=K+\Delta tF$
- D. $Q=K/\Delta tF$

Повна теплоємність масового видатку відповідного теплоносія або його водяний еквівалент:

- A. $W=1/Gc_p$
- B. $W=1-Gc_p$
- C. $W=1+Gc_p$
- D. $W=Gc_p$

Якщо на окремих ділянках значення коефіцієнта тепловіддачі змінюється суттєво, його:

- A. усереднюють по поверхні
- B. усереднюють по об'єму
- C. усереднюють по довжині
- D. немає вірної відповіді

В теплотехнічному відношенні більш вигідна:

- A. прямотечія
- B. протитечія
- C. всеодно
- D. немає вірної відповіді

Більше розповсюдження отримали такі теплообмінні апарати:

- A. кожухотрубчасті
- B. двотрубчасті
- C. змійовики
- D. спіральні

Теплообмінники з жорстким закріпленням труб у трубчастій голівці надійно працюють при різницях температур:

- A. 20-30 °С
- B. 25-30 °С
- C. 30-35 °С
- D. 30-40 °С

Оптимальні швидкості рідких теплоносіїв:

- A. 0,1-2 м/с
- B. 0,3-2 м/с
- C. 0,5-2 м/с
- D. 0,7-2 м/с

Переважне розповсюдження має розміщення труб:

- A. по сторонах і вершинах правильного трикутника
- B. по сторонах і вершинах квадратів
- C. по концентричних колах
- D. всі відповіді вірні

Рівняння подібності тепловіддачі при вільному русі:

- A. $Nu = c(Gr \cdot Pr)^n$
- B. $Nu = c(Gr - Pr)^n$
- C. $Nu = c(Gr + Pr)^n$
- D. $Nu = c(Gr/Pr)^n$

Коефіцієнт тепловідачі:

- A. $\alpha = (\text{Nu}\lambda)/l$
- B. $\alpha = (\text{Nu}\lambda) \cdot l$
- C. $\alpha = (\text{Nu}/\lambda)/l$
- D. $\alpha = (\text{Nu} + \lambda)/l$

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Ємний підігрівник здійснює відпускання до системи гарячого водопостачання споруди 0,7 кг/с нагрітої води. В той самий час до нього надходить 0,6 кг/с холодної води з температурою 23° С, прийнявши розрахунковий інтервал часу $\Delta T = 600$ с, обчислити температуру води на виході з апарата. Маса і температура води у момент часу $T = 0$ дорівнюють відповідно 1830 кг і 60 °С. Площу встановленої всередині поверхні теплопередачі прийняти рівною $F = 6,8 \text{ м}^2$. Трубний пучок теплообмінної поверхні складено з 10 труб діаметром 32 мм. Коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб поверхні теплопередачі прийняти рівним $\lambda = 32 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$. Температура нагрівної (мережної) води на вході до апарату та її витрати дорівнюють 95 °С та 0,8 кг/с, відповідно. Втрати теплоти в оточуюче середовище через бокову поверхню апарата не враховувати.

2. У ємному теплообмінному апараті, призначеному для роботи у системі гарячого водопостачання, у початковий момент часу знаходиться 1500 кг води з температурою 55 °С. Обчислити зміну температури води на виході з апарату впродовж часу, якщо витрати води на виході з апарату дорівнюють $G_2 = 0,15 \text{ кг/с}$, а надходження до нього холодної води з температурою 15 °С становить $G_1 = 0,25 \text{ кг/с}$. Тепловий потік від теплообмінної поверхні, що розміщена всередині ємності, дорівнюють $Q_T = 12 \text{ кВт}$, а втрати теплоти в оточуюче середовище через бокову поверхню апарату становлять $Q_B = 0,8 \text{ кВт}$.

3. Розрахувати і трубчастий теплообмінник (нагрівач) жорсткої конструкції, якщо відома необхідна для теплопередачі площа $A = 17 \text{ м}^2$; пропускна спроможність апарата $V = 16 \text{ дм}^3/\text{с}$ швидкість руху продукту по трубопроводах $v = 0,35 \text{ м/с}$. Крім того задається тиск в трубах $p_{\text{тр}} = 0,15 \text{ Па}$ і тиск в корпусі $p_{\text{к}} = 0,45 \text{ Па}$. Прийняти зовнішній, внутрішній та розрахунковий діаметр труб $d_3 = 38 \text{ мм}$, $d_B = 34 \text{ мм}$ і $d_p = 38 \text{ мм}$. Робоча температура труб $t_m = 100 \text{ }^\circ\text{С}$, корпуса $t_k = 60 \text{ }^\circ\text{С}$, температура навколишнього середовища $t_c = 20 \text{ }^\circ\text{С}$.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 4. Процес випарювання.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Швидкість видалення вологи с поверхні залежить від:

- A. коефіцієнта теплопередачі:
- B. коефіцієнта динамічної в'язкості
- C. коефіцієнта тепловіддачі
- D. коефіцієнта пружності

Підвищенню тискові при нагрві викликає:

- A. підвищення температури кипінню розчину
- B. зміншення температури кипінню розчину
- C. зміншення часу процесу
- D. збільшення енергозатрат

Кінцева концентрація розчину:

- A. $V_k = GB_H(G-W)$
- B. $V_k = GB_H/(G-W)$
- C. $V_k = GB_H(G+W)$
- D. $V_k = GB_H/(G+W)$

Мінімальне підвищення температури вторинної пари в разі стискування:

- A. 5–10°C
- B. 8–12°C
- C. 10–15°C
- D. 12–17°C

Найбільше поширення в промисловості отримали випарні апарати, які зігрівають:

- A. водяною парою
- B. топочним газом
- C. електричним струмом
- D. немає вірної відповіді

Відкладення кристалів солі на поверхнях випарного апарата знижує його продуктивність:

- A. на 10 – 30 %
- B. на 20 – 40 %
- C. на 30 – 50 %
- D. на 40 – 60 %

Швидкість відкладення солей на внутрішній поверхнях випарного апарату можливо зменшити наступними методами:

- A. створення високої швидкості циркуляції розчину
- B. внесенням зони кипіння розчину за межі поверхні нагріву
- C. підбором температурного режиму процесу випарювання
- D. всі відповіді вірні

Продуктивність випарювального апарату:

- A. $S_k = S_n \frac{CP_n}{CP_k}$
- B. $S_k = S_n + \frac{CP_n}{CP_k}$
- C. $S_k = S_n - \frac{CP_n}{CP_k}$
- D. $S_k = S_n / \frac{CP_n}{CP_k}$

Коефіцієнт випару:

- A. $\alpha = \frac{i_{гп} - i_k}{i_{вп} - c_{гп} i_k}$
- B. $\alpha = \frac{i_{гп} + i_k}{i_{вп} - c_{гп} i_k}$
- C. $\alpha = \frac{i_{гп} - i_k}{i_{вп} + c_{гп} i_k}$
- D. $\alpha = \frac{i_{гп} + i_k}{i_{вп} + c_{гп} i_k}$

Збільшення числа корпусів установки обмежене:

- A. витратами корисної різниці температур
- B. витратами корисної різниці тисків
- C. витратами корисної різниці швидкістей
- D. всі відповіді вірні

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити витрату водяної пари у випарному апараті при безперервному концентруванні розчину цукра. Витрата початкового розчину 5.6 т/год його концентрація 17 %, кінцева концентрація 35 %. Температура грючої пари 125 °С. Тиск вторинної пари в апараті атмосферний. Теплові втрати випарного апарату 24 кВт. Розрахунок провести для трьох варіантів: а) розчин надходить на випарювання з початковою температурою 20 °С; розчин надходить на випарювання при температурі кипіння в апараті; в) розчин надходить у випарний апарат перегрітим до 130 °С.

2. У випарному апараті упарюється під атмосферним тиском 3,7 т/год 7 % водного розчину. Початкова температура розчину 90 °С, кінцева 110 °С. Середня температура кипіння в апараті 105 °С. Надлишковий тиск грючої насиченої водяної пари 2,5 кгс/см². Площа поверхні теплообміну в апараті 48 м², коефіцієнт теплопередачі 1065 Вт/(м² К). Теплові втрати апарату в навколишнє середовище 110 кВт. Визначити; а) кінцеву концентрацію розчину; б) витрату грючої пари при вологості 5 %.

3. У випарний апарат надходить 2,4 т/год 9% розчину, який упарюється під атмосферним тиском до кінцевої концентрації 32 %. Розбавлений розчин надходить на випарку з температурою 18 °С. Упарений розчин виводиться з апарату при 105 °С. Питома теплоємність початкового розчину 3850 Дж/(кг·К). Витрата грійної насиченої водяної пари з надлишковим тиском $R_{\text{надл}}=2,5$ кгс/см² складає 1850 кг/год. Міра сухості пари 0,98. Визначити втрати теплоти в навколишнє середовище.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 5. Процес перегонки.

Форми контролю: розв'язування задач

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Якщо сили значення між молекулами обох компонентів такі ж як і між молекулами кожного з компонентів, то такі суміші зветься:

- A. ідеальними
- B. нормальними
- C. звичайними
- D. простими

Склад парової фази, яка знаходиться в рівновазі з рідиною:

- A. $y_a = \frac{P_a^* x_a}{P}$
- B. $y_a = \frac{P_a^* + x_a}{P}$
- C. $y_a = \frac{P_a^* - x_a}{P}$
- D. $y_a = \frac{P_a^* x_a}{P} + 1$

Перевага безперервної ректифікації порівняно з періодичною:

- A. умови роботи установки не змінюються в ході процесу, що дозволяє встановити точний режим, спрощує обслуговування і полегшує автоматизацію процесу
- B. відсутні простой між операціями, що призводить до підвищення продуктивності установки
- C. витрата тепла менша, але, можливе використання тепла залишку на підігрівання вихідної суміші в теплообміннику
- D. всі відповіді вірні

Матеріальний баланс колони безперервної ректифікації:

- A. $P + RP = P(R + 1)$
- B. $P + RP = P(R - 1)$
- C. $P + RP = P/(R + 1)$
- D. $P + RP = P/(R - 1)$

Флегма подається в апарат для підтримки різниці:

- A. тиску
- B. концентрації
- C. температур

D. об'ємів

Значення коефіцієнта β (надлишку флегми) коливається в межах:

- A. 1,1-1,3
- B. 1,25-1,35
- C. 1,3-1,5
- D. 1,35-1,7

Діаметр колони визначається з рівняння:

- A. $D = \sqrt{V/0,585w_d}$
- B. $D = \sqrt{V/0,685w_d}$
- C. $D = \sqrt{V/0,785w_d}$
- D. $D = \sqrt{V/0,885w_d}$

Висота тарілкової колони:

- A. $H=(n-1)h+2h+3h$
- B. $H=(n+1)h+2h+3h$
- C. $H=(n-1)h-2h-3h$
- D. $H=(n-1)h-2h+3h$

Швидкість в ректифікаційній колоні:

- A. $w = c\sqrt{(\rho_p - \rho_{\Pi})/\rho_{\Pi}}$
- B. $w = c\sqrt{(\rho_p + \rho_{\Pi})/\rho_{\Pi}}$
- C. $w = c\sqrt{(\rho_p - \rho_{\Pi}) * \rho_{\Pi}}$
- D. $w = c\sqrt{(\rho_p + \rho_{\Pi}) * \rho_{\Pi}}$

Пара, що знаходиться в рівновазі з розчином, завжди містить у надлишку той компонент, додаток якого до рідини підвищує загальний тиск парів над нею або знижує температуру кипіння:

- A. Перший закон Коновалова
- B. Перший закон Менделєєва
- C. Перший закон Павлова
- D. Перший закон Карно

Найбільшого поширення в харчових виробництвах набули:

- A. Тарілкові колони
- B. Насадкові колони.
- C. Плівкові колони
- D. Ротаційні колони

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити середній коефіцієнт дифузії етилового спирту у воді у процесі ректифікації, якщо середня концентрація спирту у розчині $x=35$ мас.

%, середня температура в колоні $t = 92\text{ }^{\circ}\text{C}$ і середня динамічна в'язкість $\mu = 0,4$ мПа с.

2. Продуктивність ректифікаційної колони для розділення суміші метиловий спирт – вода становить 2700 кг/год дистиляту. Колона працює під атмосферним тиском. Поверхня теплообміну дефлегматора 74 м^2 , коефіцієнт теплопередачі в ньому $840\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$. Визначити число флегми і витрату охолоджувальної води в дефлегматорі, якщо вона нагрівається від 14 до 38°C

3. Визначити число діючих тарілок у колоні, що працює з флегмовим числом $v=3,5$ та призначеною для збільшення вмісту спирту в рідині з 8 до 78 мол. %.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ

Тема 6. . Електрофізичні методи обробки харчових продуктів.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

1. Який вид нагріву застосовується в НВЧ-апаратах:

- A. поверхневий
- B. об'ємний
- C. традиційний
- D. загальний

Глибина проникнення електромагнітного поля:

- A. $\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^3}{f + \sqrt{\epsilon_{\text{сум}}} \operatorname{tg} \delta}$
- B. $\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^3}{f - \sqrt{\epsilon_{\text{сум}}} \operatorname{tg} \delta}$
- C. $\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^3}{f \sqrt{\epsilon_{\text{сум}}} \operatorname{tg} \delta}$
- D. $\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^3}{f \sqrt{\epsilon_{\text{сум}}} - \operatorname{tg} \delta}$

Яким є призначення системи блокування у НВЧ-печі:

- A. підтримування скляної тарілки для приготування їжі
- B. вимикання роботи апарата при відкриванні дверцят
- C. охолодження магнетрона
- D. немає вірної відповіді

Підключений до електромережі НВЧ-апарат не працює. Що може бути причиною:

- A. відсутність напруги в електромережі
- B. не встановлено тривалість приготування
- C. не щільно закриті дверцята
- D. усе, що було перелічено вище

НВЧ-апарат має тип конструкції «соло». Якими функціями він оснащений:

- A. НВЧ-нагрів
- B. НВЧ-нагрів; режим «гриль»;
- C. НВЧ-нагрів; режим «гриль»; режим «конвекція»
- D. немає вірної відповіді

Як називають основний теплогенеруючий пристрій НВЧ-апарата:

- A. кварцовий випромінювач
- B. трубчастий електронагрівач
- C. магнетрон
- D. квазітрон

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$:

- A. $\cos \varphi = \frac{P}{3UI}$
- B. $\cos \varphi = \frac{P}{3UI}$
- C. $\cos \varphi = \frac{P}{3U-I}$
- D. $\cos \varphi = \frac{P}{3U+I}$

Яким є значення коефіцієнта корисної дії НВЧ-апаратів:

- A. близько 25%;
- B. близько 50%;
- C. близько 75%?
- D. близько 85%?

Частота коливань, що найчастіше використовується в НВЧ-апаратах, складає:

- A. 925 МГц
- B. 2450 МГц
- C. 3550 МГц
- D. 5200 МГц

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Камера НВЧ-печі запитана від магнетрона потужністю = 600 Вт і має ккд $\eta = 0,8$. Визначити час роботи печі, протягом якого концентрація розчину солі ρ_c зросте до 25% за рахунок випаровування води.

2. Розрахувати індукційну установку для нагріву замороженого брикету фарша., довжиною $l=850$ мм, ширина і висота $a=b=350$ мм. Температура нагріву $t_{\text{пов}}^{\text{кон}}=8^\circ\text{C}$, допустимий перепад температур по перерізу брикету $\Delta t=3^\circ\text{C}$.

3. Робоча камера НВЧ-установки для сушіння макароних виробів розміром $2 \times 2 \times 8$ м виконана із сталевого листа завтовшки 2 мм. Камера продувається повітрям, нагрітим до 80°C , зі швидкістю 10 м/с. Зовнішні стінки

камери охолоджуються вільною конвекцією повітря, температура якого 20°C . З коефіцієнтом теплопередачі $\alpha_t=10\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{град})$. Визначити теплові втрати втрати установки, якщо підлога та торцеві стінки теплоізовані.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.
4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с
5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 7. Дослідження основних характеристик газових пальників та їх розрахунок

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Різновидом якого хімічного процесу є реакція горіння газоподібного палива:

- A. сполучення
- B. розклад
- C. окислення
- D. немає вірної відповіді

Дифузійні пальники не використовуються в сучасних теплових апаратах закладів ресторанного господарства, тому що вони:

- A. мають велику довжину факелу полум'я, що потребує високих ка мер згоряння
- B. мають високу температуру згоряння палива

С. не забезпечують підведення до зони горіння визначеної кількості газу

Д. всі відповіді вірні

В пальниках якого типу відбувається зовнішнє змішування газу з повітрям:

А. дифузійних

В. інжекційних

С. безполумєневих

Д. немає вірної відповіді

Теплота, що виділяється за повного згорання 1 кг палива, без врахування теплоти, що витрачається на випаровування вологи, — це:

А. вища теплота згорання

В. нижча теплота згорання

С. швидкість розповсюдження полум'я

Д. всі відповіді вірні

За способом подання повітря газовий пальник може бути:

А. зовнішнього змішування

В. внутрішнього змішування

С. низького тиску

Д. немає вірної відповіді

Яка частина газового пальника призначена для підсмоктування повітря за рахунок розрідження:

А. конфузор

В. горловина

С. дифузор

Д. немає вірної відповіді

Як називається пристрій, який забезпечує стійке згорання пального газу та регулювання процесу горіння:

А. конфузор

В. дифузор

С. пальник

Д. немає вірної відповіді

В газових пальниках якого типу може відбуватися явище «відриву полум'я»:

А. дифузійних

В. інжекційних

С. безполумєневих

Д. немає вірної відповіді

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Розрахувати конструктивні розміри дутьової дифузійного газового пальника ($d_B, d_G, d, h, d_{СТР}, n, L_{CM}$) та її технічні характеристики ($Q_G, V_G, V_B, w_B, w_G, w_{CM}, P_B$). Пальники в кількості двох встановлені на котлі ті продуктивністю 1 МВт. Визначити тиск повітря на вході в пальник, якщо надлишковий тиск димових газів у топковій камері $P_{КС} = -20$ Па. Привести ескіз розрахованої пальники в масштабі. Вихідні дані для вирішення задачі $t_B=10^0C, \Delta P_G=150$ Па, $\eta=0,8$.

2. Розрахувати конструктивні розміри газової інжекційного пальника з повним попереднім змішуванням, якщо відомі: витрати газу через пальник $V_G=0,05$ м³/с; газопровід, звідки береться газ; ККД теплосилового агрегату $\eta=0,78$. Температуру газу та повітря прийняти 0°C. Визначити теплову потужність агрегату та необхідний тиск газу перед пальником. При розрахунку прийняти коефіцієнт надлишку повітря $T = 1,05$. Привести ескіз розрахованого пальника масштабу.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 8. Процес сушіння.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Форми зв'язку вологи з матеріалом:

- A. хімічна, фізико-хімічна, механічна;
- B. хімічна, фізична, теплова;
- C. хімічна, фізична;
- D. механічна, фізична.

Рушійною силою процесу сушіння є:

- A. різниця температур;
- B. різниця концентрацій;
- C. різниця тиску;
- D. різниця струму.

В процесі сушіння видаляється:

- A. зв'язана волога;
- B. хімічно зв'язана волога;
- C. вільна волога;
- D. адсорбційно зв'язана волога.

Сублімаційним сушінням є

- A. вилучення вологи з матеріалу шляхом перетворення її у лід, а після цього, проминувши рідку фазу – у водяну пару;
- B. вилучення вологи з матеріалу шляхом нагрівання і перетворення у водяну пару;
- C. вилучення вологи з матеріалу шляхом нагрівання струмом високої частоти;
- D. вилучення вологи з матеріалу за рахунок обробки інфрачервоними променями.

Кількість пари, що надходить з поверхні матеріалу в повітря:

- A. $W = k_B(P_M - P_P)S_\tau$
- B. $W = k_B/(P_M - P_P)S_\tau$
- C. $W = k_B(P_M + P_P)S_\tau$
- D. $W = k_B/(P_M + P_P)S_\tau$

Волога, що знаходиться в сполученні з матеріалом і при сушінні не видаляється:

- A. хімічно зв'язана волога
- B. фізично зв'язана волога
- C. динамічно зв'язана волога
- D. всі відповіді вірні

Перевагою розпилювальних сушарок є можливість використання:

- A. теплоносіїв з високою температурою
- B. теплоносіїв з низькою температурою
- C. теплоносіїв з будь-якою температурою

D. всі відповіді вірні

Після періоду прогріву матеріалу до температури сушіння наступає період:

- A. постійної швидкості сушіння
- B. постійного тиску сушіння
- C. постійної температури сушіння
- D. всі відповіді вірні

Швидкість сушіння залежить від:

- A. швидкості руху повітря в сушарці,
- B. температури повітря в сушарці.
- C. фізикохімічних властивостей матеріалу
- D. всі відповіді вірні

Найчисленніша група сушарних апаратів:

- A. конвективні сушарки
- B. кондуктивні сушарки
- C. сублимаційні сушарки
- D. СВЧ сушарки

Кількість висушеного матеріалу:

- A. $G_2 = G_1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}$
- B. $G_2 = G_1 + \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}$
- C. $G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}$
- D. $G_2 = G_1 \frac{100 + \omega_1}{100 + \omega_2}$

Яка волога виділяється в процесі сушіння з овочів і фруктів в першу чергу:

- A. капілярна волога
- B. адсорбційна волога
- C. мікрокапілярна волога
- D. осмотична волога

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Продуктивність сушарки за вологим матеріалом 2500 кг/год. Початкова вологість матеріалу (перед сушаркою) $a_n = 20$ % мас., кінцева (після сушарки) $a_k = 5$ % мас. Повітря перед входом до калорифера має параметри: $t = 18$ °С, $\varphi_0 = 45$ %. У калорифері повітря нагрівається до $t_1 = 120$ °С, після чого надходить у сушарку. Відносна вологість повітря на виході з сушарки $\varphi_2 = 40$ %. Визначити: витрата вологи, що видаляється, витрата сухого повітря в розрахунку на теоретичну сушарку і витрата сухого повітря для дійсної

сушарки, для якої сума повідомлень і витрат тепла $\Delta = -838$ кДж/кг уд. вологи.

2. Повітря з параметрами $t_0 = 18$ °С та $\varphi_0 = 45$ % нагрівається в калорифері перед теоретичною сушаркою до $t_1 = 120$ °С. З сушарки сушильний агент (повітря) виходить з $\varphi_2 = 40\%$. Необхідно знизити температуру сушильного агента перед входом у сушарку до 80 °С, застосувавши часткову рециркуляцію сушильного агента. Визначити кратність циркуляції сушильного агента.

3. Знайти точку роси для вологого повітря вмістом вологи $x=0,05$ кг/кг сухого повітря і загальним тиском пароповітряної суміші $p=745$ мм рт. Ст.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ГІДРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ

Тема 9. Основні рівняння гідродинаміки.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Масова витрата рідини визначається з виразу:

A. $M = \rho \cdot v_{\text{сер}} \cdot S$;

B. $M = \frac{S}{\rho}$;

C. $M = g \cdot v \cdot r_{\text{гидр}}$;

D. $M = v_{\text{сер}} \cdot S$.

Об'ємна витрата рідини визначається з виразу:

A. $V = \frac{v_{\text{сер}} \cdot d}{v}$;

B. $V = v_{\text{сер}} \cdot S$;

C. $V = v_{\text{сер}} \cdot S \cdot \rho$;

D. $V = \rho \cdot v_{\text{сер}} \cdot S$;

Який критерій подібності характеризує режим руху рідини?

A. критерій Архімеда;

B. критерій Рейнольда;

C. критерій Нуссельта;

D. критерій Прандтля.

Ламінарний режим руху рідини характеризується числом Рейнольдса, який має значення:

A. $Re \leq 2320$;

B. $Re \geq 2320$;

C. $Re \geq 1000$;

D. $Re \leq 2$.

Перехідний режим руху рідини від ламінарного до турбулентного характеризується числом Рейнольдса, який має значення:

A. $Re > 5000$;

B. $1000 < Re < 10000$;

C. $2320 < Re < 10000$;

D. $Re \geq 10000$.

Розвинений турбулентний режим руху рідини характеризується числом Рейнольдса, який має значення:

- A. $Re=2320$;
- B. $Re=7000$;
- C. $Re > 10000$;
- D. $Re \geq 5000$.

Рівняння Бернуллі для ідеальної рідини має вид:

- A. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$;
- B. $z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$;
- C. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g}$;
- D. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{1-2}$.

Рівняння Бернуллі для реальної рідини має вид:

- A. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g}$;
- B. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{1-2}$;
- C. $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$;
- D. $z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$.

Під час руху рідини у трубопроводі відбуваються витрати тиску (енергії) потоку, які спричинені:

- A. місцевими опорами, які зумовлені зміною швидкості потоку за величиною та напрямком;
- B. опором вздовж труби, який зумовлений силами тертя;
- C. опором двох видів;
- D. опорами, які зумовлені геометричними розмірами труби (діаметром і довжиною)/

Під час руху рідини у трубопроводі місцеві втрати напору зумовлені:

- A. розширення, звуження, повороти трубопроводу, крани, вентилялі;
- B. розширення, звуження, поворот трубопроводу, крани, вентилялі, входи та виходи;
- C. повороти трубопроводу;
- D. крани, вентилялі.

Для перекачування в'язких рідин використовуються:

- A. роторні насоси;
- B. струменні насоси;

- C. поршневі насоси;
- D. вентиляторні;

Що є рухомою силою переміщення рідини або газу в трубопроводі?

- A. різниця тиску;
- B. різниця натиску;
- C. різниця концентрації;
- D. різниця густини.

Від чого залежить режим руху рідини в трубопроводі?

- A. від швидкості руху;
- B. від різниці тиску;
- C. від густини рідини;
- D. від шорсткості труб.

Для переміщення рідин в трубопроводах використовують:

- A. насадки;
- B. насоси;
- C. компресори,
- D. вентилятори.

Перепад тиску досягається (рушійна сила):

- A. за рахунок надлишкового тиску
- B. за рахунок розрідження (вакууму)
- C. за рахунок гідростатичного стовпа рідини
- D. всі відповіді вірні

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити силу тиску T на дно конічного резервуару заповненого водою, якщо на верхню частину резервуару діє сила $G=2500\text{H}$, м. Вихідні дані: рівень води в резервуарі $H=2,0$ м; діаметр верхньої частини $d=400$, мм; діаметр дна $D=1,2$, м; температура води, $t=18$, °C

2. Визначити на яку висоту H піднімається вода в барометричній трубі і який тиск P_k буде в конденсаторі змішування. Вихідні дані: показ ртутного вакуумметра $h_{рт}=0,58$ м; температура води $t=20$, °C; атмосферний тиск 750 мм.рт.ст.; густина ртуті $\rho_{рт}=13600$ кг/м³.

3. Визначити витрати цукрового розчину Q в горизонтальній трубі на якій встановлено водомір Вентурі. Вихідні дані: діаметр труби $d_1=100$, мм; діаметр вузької частини $d_2=40$, мм; показ першого п'єзометра $h_1=1,2$ м; показ п'єзометра у звуженому місці $h_2=0,5$, м

Рекомендована література:

- 1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
- 2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик

І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К.: НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 10. Процес змішування.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

Коефіцієнт ступеня однорідності β (%) суміші:

- A. $\beta=1-(a-b)$
- B. $\beta=1+(a-b)$
- C. $\beta=1-(a+b)$
- D. $\beta=1*(a-b)$

Тихохідні мішалки. Частота їх обертання становить

- A. 10 ... 60 хв-1
- B. 20 ... 80 хв-1
- C. 30 ... 90 хв-1
- D. 50 ... 100 хв-1

Швидкохідні мішалки. Частота їх обертання становить від

- A. 50 до 1000 хв-1
- B. 100 до 1500 хв-1
- C. 100 до 3000 хв-1
- D. 200 до 3500 хв-1

При якому способі перемішування застосовується барботаж?

- A. Пневматичний.
- D. Циркуляційний.
- C. Статичний.
- D. Механічний.

Які параметри характеризують якість перемішування?

- A. Ефективність перемішування пристроїв.
- B. Інтенсивність перемішування.
- C. Продуктивність перемішувальних пристроїв.
- D. Витрачена потужність на перемішування.

Які критерії не оцінюють якість перемішування?

- A. Коефіцієнт кратності перемішування.
- B. Коефіцієнт ступеня однорідності.
- C. Коефіцієнт однорідності.
- D. Коефіцієнт змішування фаз.

Які мішалки відносяться до тихохідних?

- A. Якірні.
- B. Гвинтові.
- C. Пропелерні.
- D. Турбінні.

Які мішалки відносяться до швидкохідних?

- A. Гвинтові.
- B. Лопатеві.
- C. Шнекові.206
- D. Стрічкові.

Яке критеріальне рівняння описує рух рідини при механічному перемішуванні?

- A. $Eu = f(Re)$.
- B. $Eu = f(Fr)$.
- C. $Re = f(Fr)$.
- D. $Fr = f(Ar)$.

Яке формулювання не можна віднести до мети процесу перемішування?

- A. Перемішування суміші з метою порозділення компонентів, які знаходяться в ній.
- B. Рівномірний розподіл окремих компонентів у всьому об'ємі суміші.
- C. Інтенсифікація теплових і масообмінних процесів.
- D. Утворення суміші з однаковими властивостями в будь-якій її точці.

Основні характеристики процесу перемішування:

- A. Ефективність та інтенсивність перемішування.
- B. Продуктивність і витрачена потужність.
- C. Колова швидкість мішалки.
- D. Тривалість процесу перемішування.

Які критерії входять в узагальнене рівняння гідродинаміки для перемішування?

- A. Критерій Ейлера Eu , критерій Рейнольдса Re .
- B. Критерій Архімеда Ar , критерій Галілея Ga .
- C. Критерій Нуссельта Nu , критерій Прандтля Pr .
- D. Критерій Фур'є Fo , критерій Пікль Pe .

Які пристрої застосовуються для перемішування тесту?

- A. Шнекові, стрічкові, спіральні
- B. Турбінні, роторні
- C. Барабанні, лопатеві
- D. Дискові, дечункові

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити необхідний тиск повітря та його витрати для пневмотичного перемішування рідини щільністю 1200 кг/м^3 в апараті діаметром 1400 мм , якщо висота слоя рідини $1,2 \text{ м}$, $K=0,45$, тиск 745 мм. рт. ст.

2. Знайти потужність, що витрачається на перемішування, якщо $\rho=1015 \text{ кг/м}^3$; $n=0,42 \text{ об/с}$; $d_m=1,66 \text{ м}$; $K_n=0,28$.

3. Знайти потужність, що витрачається на тертя, якщо потужність, яка витрачається на перемішування складає 100 Вт

4. Знайти розрахунковий крутний момент, якщо потужність, яка витрачається на перемішування, дорівнює 336 Вт , а колова швидкість обертання $2,6 \text{ рад/с}$

5. Розрахувати потужність турбінної мішалки $d=300$ для перемішування суспензії $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$. $\mu=0,12 \text{ Пас}$, якщо швидкість обертання мішалки 7 м/с .

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К.: НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 11. Розділення неоднорідних систем

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Фактор розділення:

A. $\theta = \frac{\omega^2 r}{g}$

B. $\theta = \frac{\omega^2 - r}{g}$

C. $\theta = \frac{\omega^2 + r}{g}$

D. $\theta = \frac{\omega r}{g}$

Масова кількість освітленої рідини G_0 отриманої з суспензії :

A. $G_0 = G_c(1 - \frac{x_1}{x_2})$

B. $G_0 = G_c(1 + \frac{x_1}{x_2})$

C. $G_0 = G_c/(1 - \frac{x_1}{x_2})$

D. $G_0 = G_c(1 + \frac{x_1}{x_2})$

Продуктивність центрифуг періодичної дії:

A. $G = \pi R^2 H - \rho_c \Theta$

B. $G = \pi R^2 H + \rho_c \Theta$

C. $G = \pi R^2 H / \rho_c \Theta$

D. $G = \pi R^2 H \rho_c \Theta$

Колова швидкість обертання барабану центрифуги:

- A. 20-30 м/с
- B. 30-40 м/с
- C. 40-50 м/с
- D. 50-60 м/с

Загальним терміном «аерозоль» називають:

- A. пил
- B. туман
- C. дим
- D. всі відповіді вірні

Згідно закону Стокса при значенні $Re < 1$ сила опору в'язкого середовища тілу, що рухається в ньому є:

- A. $P_n = 3\pi\mu vd$
- B. $P_n = 3\pi\mu + vd$
- C. $P_n = 3\pi\mu vd$
- D. $P_n = 3\pi\mu/vd$

Розділення суміші дрібних неоднорідних твердих частинок, яке засноване на різній змочуваності їх водою:

- A. дисперсія
- B. флотація
- C. аерація
- D. всі відповіді вірні

Фактор розділення швидкохідної центрифуги F_r :

- A. $F_r > 1500$
- B. $F_r > 2500$
- C. $F_r > 3500$
- D. $F_r > 4500$

Маса одного завантаження барабану центрифуги:

- A. $G = \pi R^2 + H\rho_c\varphi$
- B. $G = \pi R^2 - H\rho_c\varphi$
- C. $G = \pi R^2 / H\rho_c\varphi$
- D. $G = \pi R^2 H\rho_c\varphi$

Коефіцієнт проникнення середовища:

- A. $K = 0,0004d_e^2$
- B. $K = 0,0005d_e^2$
- C. $K = 0,0006d_e^2$
- D. $K = 0,0007d_e^2$

В практичних розрахунках швидкість газу в витяжній трубі циклону приймається:

- A. 2-5 м/с
- B. 3-6 м/с
- C. 4-8 м/с
- D. 5-9 м/с

Колова швидкість газу в циклоні:

- A. 10-12 м/с
- B. 12-14 м/с
- C. 13-15 м/с
- D. 15-20 м/с

На підприємствах харчової промисловості для очищення великих об'ємів повітря з великою концентрацією пилу використовують в основному пиловловлювачі із:

- A. матерії
- B. піска
- C. води
- D. полімерних матеріалов

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Виконати розрахунок циклона для очищення твердих частинок відпрацьованого повітря після сушарки, використовуючи такі вихідні дані: продуктивність циклона по гарячому повітрю $L=25000$ кг/год; температура повітря $t=75$ °С; відношення гідравлічного опору до густини повітря $\frac{\Delta p}{\rho_{\Gamma}} = 640$; концентрація твердих частинок у відпрацьованому і очищеному повітрі відповідно, $x_1 = 0,32$ кг/м³, $x_2 = 0,07$ кг/м³; колова швидкість повітря в циклоні $w=12$ м/с; швидкість повітря у вхідному патрубку $w_1 = 22$ м/с; швидкість повітря у вивідній трубі $w_2=7,5$ м/с.

2. Визначити погодинну продуктивність центрифуги по наступним даним: найменший розмір часток бкм, щільність часток $\rho=1900$ кг/м³, температура суспензії 32⁰С. Характеристики центрифуги: діаметр барабану 850 мм; довжина барабану 420 мм; діаметр борту 670 мм; частота обертання 1100 хв⁻¹. Цикл роботи центрифуги $\tau_{\text{ц}} = 22$ хв., з них $\tau_{\text{п}} = 20$ хв. – подача суспензії, $\tau_{\text{р}} = 2$ хв. – розвантаження осаду.

3. Розрахувати барабанний вакуум-фільтр для фільтрування суспензії, якщо витрата суспензії $G_{\text{с}} = 8$ кг/с; вміст твердої фази в суспензії $x_1 = 18$ мас %; густина твердої фази $\rho_{\Gamma} = 1850$ кг/м³; товщина шару осаду $h_0 = 15$ мм; вміст фільтрату в осаді $x_2 = 25$ мас %; питомий опір осаду $g_{\text{ос}} = 16 \cdot 10^{-12}$ м⁻²; опір фільтрувальної перегородки $R = 14 \cdot 10^{-10}$ м⁻¹; густина фільтрату $\rho_{\text{ф}} = 1030$ кг/м³ та його в'язкість $\mu_{\text{ф}} = 6 \cdot 10^{-4}$ Па•с; в'язкість фільтрату під час промивання $\mu_{\text{пр}} = 4,5 \cdot 10^{-4}$ Па•с.

4. Витрата води на промивання осаду становить $V=1,1$ м³ на 1 м³ вологого осаду. Перепад тисків при фільтруванні та промивці дорівнює $=0,7 \cdot 10^5$ Па.

5. Виконати розрахунок і накреслити схему центрифуги періодичної дії. маса водної суспензії, яку завантажують в барабан $m_c=350$ кг; температура суспензії $t=35$ °С; густина суспензії $\rho_c=1150$ кг/м³; концентрація твердої фази в суспензії $x_1=23$ % мас; вологість осаду $w=27$ % мас; внутрішній діаметр барабана $D=1100$, мм; висота барабана $H=450$, мм; частота обертання барабана $n=960$, об/хв; тривалість періоду фільтрування $\tau_\phi=85$ с.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ

Тема 12. Подрібнювально-різальне обладнання.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Найважливіша деталь механізму різання вовчка:

- A. циліндр
- B. ніж
- C. решітка
- D. черв'як

Продуктивність кутера залежить:

- A. від місткості чаші кутера
- B. від ступеня завантаження чаші кутера
- C. від тривалості циклу роботи
- D. від усіх перелічених

Машини для подрібнення м'ясожирової сировини на кусочки правильної форми:

- A. шпикорізки
- B. кутери
- C. вовчки
- D. колоїдні млини

Площа контакту леза ножа та решітки:

- A. $F=b(r_3 - r_B)m$
- B. $F=b(r_3 + r_B)m$
- C. $F=b(r_3 - r_B)/m$
- D. $F=b(r_3 + r_B)/m$

Вовчки призначені для подрібнення:

- A. циклічного
- B. періодичного
- C. безперервного
- D. змішаног

Обладнання, що використовують для приготування фаршу:

- A. змішувачі, машини для тонкого подрібнення, комбіновані машини
- B. змішувачі, машини для тонкого подрібнення, комбіновані машини, комплекси обладнання
- C. змішувачі, машини для тонкого подрібнення, комплекси обладнання
- D. змішувачі, машини для тонкого подрібнення

Подрібнювачі м'яса бувають:

- C. роторні, дискові, ножеві
- B. роторні, ножеві
- C. дискові, ножеві
- D. роторні, дискові, лопатеві

Кутер призначений для:

- A. подрібнення риби
- B. подрібнення сиру
- D. подрібнення м'яса
- C. подрібнення

Проводять подрібнення м'яса за допомогою:

- A. сепаратора
- B. преса
- C. центрифуги
- D. кутера

Ріжучий інструмент, що використовують в кутерах:

- A. леза
- B. ріжучі пластини
- C. фрези
- D. ножі

Основний показник технічної характеристики кутера, це:

- A. місткість чаші
- B. стан поверхні ножа
- C. швидкість обертання ножів
- D. швидкість обертання чаші

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Зовнішній діаметр шнека, $D = 0,098$ м. діаметр валу шнека, $d = 0,035$ м. n - число обертів шнека за хвилину, $n = 240$ об/хв. Конструктивно шнек виконаний зі змінним кроком з шести витків. Визначити продуктивність вовчка.

2. Розрахуйте зусилля сили різання, для цукеркових мас, якщо питомий опір різанню, 10 Па, діаметр ножа 150 мм. Кількість ножів 2 .

3. При різанні лапши зі швидкістю $1,5$ м/хв. та опіру лезам ножів 110

H/m^2 необхідно розрахувати потужність та обороти електродвигуна.

4. Розрахувати продуктивність бурякорізки яка при швидкості різання $v=5\text{м}/\text{с}$ забезпечувала б одержання стружки товщиною $h=0,004\text{м}$, маса стружки в одиниці об'єму; $\rho= 550 \text{ кг}/\text{м}^3$, конструктивний коефіцієнт $K_k = 0,98$, експлуатаційний коефіцієнт $K_e=0.9$ та визначити орієнтійні витрати потужності.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 13. Процес сорбції.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Основне рівняння масопередачі при абсорбції:

A. $M=KF\Delta C\tau$

B. $M=KF-\Delta C\tau$

C. $M=KF+\Delta C\tau$

D. $M=KF/\Delta C\tau$

Абсорбція протікає:

A. на поверхні розділу фаз.

B. в глибині

C. над поверхнею

D. скрізь

Розчинність газу за даної температури прямо пропорційна парціальному тиску газу над рідиною:

- A. Закон Генрі
- B. Закон Мона
- C. Закон Клайперона
- D. Закон Рауля

Витрати рідкого сорбенту:

- A. $L = \frac{G(y_{\Pi} - y_{\text{K}})}{(x_{\text{K}} - x_{\Pi})}$
- B. $L = \frac{G(y_{\Pi} + y_{\text{K}})}{(x_{\text{K}} - x_{\Pi})}$
- C. $L = \frac{G(y_{\Pi} - y_{\text{K}})}{(x_{\text{K}} + x_{\Pi})}$
- D. $L = \frac{G(y_{\Pi} + y_{\text{K}})}{(x_{\text{K}} + x_{\Pi})}$

Лінія фазової рівноваги для ідеальних розчинів описується рівнянням:

- A. $y = A_{\text{p}}x$
- B. $y = A_{\text{p}}x + c$
- C. $y = A_{\text{p}}x - c$
- D. $y = A_{\text{p}}/x$

Коефіцієнт змоченості знаходиться в межах від:

- A. 0 до 0,1
- B. 0 до 0,3
- C. 0 до 0,5
- D. 0 до 1,0

Критерій Прандтля (масообмінний) для рідини:

- A. $Pr_p = \frac{\mu_p}{\rho_p - D_p}$
- B. $Pr_p = \frac{\mu_p}{\rho_p + D_p}$
- C. $Pr_p = \frac{\mu_p}{\rho_p D_p}$
- D. $Pr_p = \frac{\mu_p}{\rho_p / D_p}$

Закон Рауля:

- A. $P_{\text{аб}} = P_{\text{аб}}^0(1 - x)$
- B. $P_{\text{аб}} = P_{\text{аб}}^0(1 + x)$
- C. $P_{\text{аб}} = P_{\text{аб}}^0(1 - x)$
- D. $P_{\text{аб}} = P_{\text{аб}}^0/(1 - x)$

Десорбцію газу проводять:

- A. відгоном його в струмені інертного газу
- B. шляхом підвода тепла до абсорбенту
- C. шляхом зниження тиску над абсорбенту
- D. всі відповіді вірні

Активність адсорбенту:

- A. $\alpha = G/g_a$
- B. $\alpha = Gg_a$
- C. $\alpha = G - g_a$
- D. $\alpha = G + g_a$

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити опір керамічної кільцевої насадки, якщо її височина $H=10$ м, щільність зрошення $U=6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$, масова швидкість газу $W=3 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$ Кільця складені правильними рядами і мають розмір $50 \times 50 \times 5$ мм. Щільність газу $\rho=1,32 \text{ кг}/\text{м}^3$; в'язкість газу $\mu=0,23 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с.}$

2. Розрахувати насадковий абсорбер для поглинання газу SO_2 водою з повітря при заданій температурі процесу. Масова витрата повітря становить $G_M=0,64 \text{ кг}/\text{с.}$ початкова концентрація SO_2 в повітрі $y_H=12\%$, кінцева $y_K=0,25\%$. Початкова концентрація SO_2 у воді становить $x_H=0,025\%$, кінцева $x_K=0,62\%$. Процес відбувається в умовах протитоку при температурі $t=20^\circ\text{C}$ атмосферному тиску.

3. Визначити опір шару безпорядково засипаної в абсорбер насадки при щільності зрошення $U=6,4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$, масової швидкості газу $W=1,63 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$ височині шару насадки $H=8,6$ м. Щільність газу $\rho=1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, в'язкість газу $\mu=0,23 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с.}$ питома поверхня насадки $f_H=145 \text{ м}^2/\text{м}^3$, вільний об'єм насадки, $V_V=0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.
4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с
5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум:

Тема 14. Екстракція.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Який найбільше поширений отримав спосіб екстрагування у харчовій промисловості:

- A. Безперервний протитечійний
- B. періодичний протитечійний
- C. безперервний сталий
- D. періодичний сталий

Швидкість Екстракції визначається:

- A. рушійною силою процесу
- B. сумарним опором на всіх стадіях
- C. співвідношенням маси екстрагента і рідини у твердій фазі
- D. всі відповіді вірні

Витрати екстрагента для проведення процесу екстракції:

- A. $G=L(x_k-x_n)/(y_k-y_n)$
- B. $G=L(x_n+x_k)/(y_k-y_n)$
- C. $G=L(x_n-x_k)(y_k+y_n)$
- D. $G=L(x_n+x_k)(y_k+y_n)$

За агрегатним станом розрізняють екстрагування в системі:

- A. тверде тіло- тверде тіло
- B. тверде тіло - рідина
- C. рідина - рідина
- D. вірні B і C

Коефіцієнт розподілу екстракції:

- A. $D=y^*/x^*$
- B. $D=y^* \cdot x^*$
- C. $D=y^* + x^*$
- D. $D=y^* \cdot x^*$

В екстракційній системі гранично припустимий вміст цільового компонента в екстраті й рафінаді:

- A. фазова насиченість
- B. фазова рівновага
- C. фазова домінанта
- D. немає вірної відповіді

Для проведення процесу екстрагування в системі "тверде тіло - рідина" - застосовують такий спосіб взаємодії фаз:

- A. контакт у замкненому об'ємі
- B. фільтрування рідини через шар пористих частинок (перколяція)
- C. протитечійна взаємодія твердих частинок з рідиною
- D. всі відповіді вірні

Швидкість дисперсної фази на струменевому режимі в отворах сітчастих тарілок складає:

- A. 0,1-0,2 м/с
- B. 0,15-0,3 м/с
- C. 0,2-0,4 м/с
- D. 0,3-0,5 м/с

Час повного розчинення частинки τ обчислюється за формулою:

- A. $\tau = \frac{d_0 \rho m}{a(c^* - c) + \beta c}$
- B. $\tau = \frac{d_0 \rho m}{a(c^* - c) - \beta c}$
- C. $\tau = \frac{d_0 \rho m}{a(c^* - c) \beta c}$
- D. $\tau = \frac{d_0 \rho m}{a(c^* - c) / \beta c}$

Температура кипіння більшості ефірних олій ароматичних корінців:

- A. 110-130° C
- B. 120-140° C
- C. 130-150° C
- D. 140-160° C

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Розрахувати об'єм екстрактора, якщо кількість отриманої пульпи при екстракції фосфатної кислоти з апатитового концентрату складає 385,8 т/год; щільність пульпи $\rho = 1580 \text{ кг/м}^3$, а час перебування пульпи в екстракторах дорівнює 6 год.

2. Константа розподілу йоду між водою і етиловим спиртом при 20 ° C дорівнює 0,00435. Скільки грамів йоду залишиться в чотирьох літрах водного

розчину ($C = 1,3 \text{ г / л}$) після двократної екстракції етиловим спиртом, якщо всього витрачено 600 мл спирту?

3. Визначити діаметр безперервно діючого насадкового екстрактора для вилучення оцтової кислоти з бензолу водою (дисперсна фаза – вода, суцільна фаза – бензол). Продуктивність екстрактора $V_c = 18 \text{ м}^3/\text{год}$. Бен-золу, початкова концентрація оцтової кислоти у бензолі $x' = 120 \text{ кг/м}^3$, кінцева концентрація $x'' = 1,55 \text{ кг/м}^3$. Концентрація оцтової кислоти на виході в екстрагенті (воді) на виході з колони $y'' = 260 \text{ кг/м}^3$. Температура $t = 21^\circ\text{C}$.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малєжика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Тема 15. Біохімічні процеси.

Форми контролю: розв'язування задач.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

2. Розв'яжіть тестові завдання.

Залежність швидкості росту культури називається рівнянням:

- A. Мальтуса
- B. Моно
- C. Пастера
- D. Ієрусалімського

Концентрация біомаси:

$$A. X = \frac{X_{\Pi} + X_K}{X_{\Pi} + (X_K - X_{\Pi})e^{-\mu\tau}}$$

$$B. X = \frac{X_{\Pi} - X_K}{X_{\Pi} + (X_K - X_{\Pi})e^{-\mu\tau}}$$

$$C. X = \frac{X_{\Pi} X_K}{X_{\Pi} + (X_K - X_{\Pi})e^{-\mu\tau}}$$

$$D. X = \frac{X_{\Pi}/X_K}{X_{\Pi} + (X_K - X_{\Pi})e^{-\mu\tau}}$$

Швидкості ферментативних реакцій залежать від концентрації субстрата-реагенту, то швидкість збільшення біомаси в часі залежить від:

- A. концентрації субстрату
- B. концентрації розчинника
- C. концентрації рідини
- D. всі відповіді вірні

Співвідношення між масою субстрату, що спожилась і кількістю біомаси X, що утворюються з цього субстрату, α :

$$A. \alpha = \frac{S_0 - S}{X}$$

$$B. \alpha = \frac{S_0 + S}{X}$$

$$C. \alpha = \frac{S_0 S}{X}$$

$$D. \alpha = \frac{S_0/S}{X}$$

Об'єм ферментерів:

$$A. V = \frac{(\tau + \tau_D)N}{K_1 K_2 K_3 X_{\Pi}}$$

$$B. V = \frac{(\tau - \tau_D)N}{K_1 K_2 K_3 X_{\Pi}}$$

$$C. V = \frac{(\tau \tau_D)N}{K_1 K_2 K_3 X_{\Pi}}$$

$$D. V = \frac{(\tau/\tau_D)N}{K_1 K_2 K_3 X_{\Pi}}$$

Питома швидкість росту залежить від:

- A. концентрації лімітуючого субстрату
- B. температури субстрату
- C. тиску субстрату
- D. всі відповіді вірні

Умова екстремальної роботи ферментора:

- A. поточна концентрація біомаси повина становити половину від теоретично можливої ($X=X_k/2$)
- B. біомаса повина бути холодною
- C. біомаса повина теплою
- D. поточна концентрація біомаси повина становити максимальною ($X=X_{\max}$)

Яку уяву про процес дає модель РЛК:

- A. точну
- B. спрощену
- C. відносну
- D. немає вірної відповіді

Головна умова безперервного культивування в рамках моделі РЛК:

- A. $X = X_k - \frac{X_k}{\mu} D$
- B. $X = X_k + \frac{X_k}{\mu} D$
- C. $X = X_k - \frac{X_k}{\mu} + D$
- D. $X = X_k + \frac{X_k}{\mu} - D$

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. Проце культивування відповідає моделі РЛК, X_p і X_k відповідно 0,01 і 75 кг/м³, питома швидкість росту 0,2 год⁻¹. Скільки годин потрібно для завершення процесу на 98%?

2. До реактора, що працює в екстремальних умовах, послідовно приєднали ще один, ємність котрого в двоє більше. Знайти концентрацію біомаси на виході у % від X_k

3. Скільки часу потрібно для культивування біомаси, щоб залишити 10 мас. % КР у ферментері як закваску для процесу ферментації об'ємно-доливним методом. $X_k=7$ кг/м³, $\mu = 0,1$ год⁻¹, ступінь конверсії-90 %

4. Розрахувати ємність для безперервного культивування за таких умов: максимально питома швидкість роста 0,7 год⁻¹. S_0, S_1, K_s, K_1 відповідно 12; 5;13;75 кг/м³; $N=1000$ тон/рік, $n=330$ діб/рік, K_1, K_2, K_3, α відповідно 0,75; 1; 0,6; 1,8. Умови культивування екстремальні.

Рекомендована література:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування :

навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Список використаної літератури:

1. Марценюк, О.С. Процеси і апарати харчових виробництв : підруч. / О.С. Марценюк, Л.М. Мельник. К.: НУХТ, 2011. 407 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Циганков П.С., Немирович П.М. та ін.] : за ред. проф. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

3. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Марценюк О.С., Мельник Л.М. та ін.] : за ред. проф. І.Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2012. 543 с.

4. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [Малежик І.Ф., Зав'ялов В.Л., Зоткіна Л.В. та ін.] : за ред. проф. І.Ф.Малежика. К. НУХТ, 2006. 224 с

5. Процеси и апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. Харків : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. 2002. 420 с.

6. Процеси і апарати харчових виробництв. Лабораторний практикум: навч. Посібник / О. І. Черевко [та ін.]; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Х. : Світ Книг, 2013. 168 с.

Навчальне видання

*Омельченко Олександр Володимирович,
Перекрест Володимир Вікторович*

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

Донецький національний університет
економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
50042, Дніпропетровська обл.,
м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
Свідоцтво суб'єкта видавничої
справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.