

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ДМИТРА МОТОРНОГО



**ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ
МЕХАНІЧНІ ТА ГІДРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ**

Підручник

Мелітополь

2021

УДК 664.002.5 (075)

П 84

Рекомендовано Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного як підручник для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», і 181 «Харчові технології» закладів вищої освіти III-IV рівня акредитації (Протокол № 8 від 24.05.2021 р.)

Авторський колектив:

Бойко В. С., кандидат технічних наук, доцент; **Самойчук К. О.**, доктор технічних наук, професор; **Тарасенко В. Г.**, кандидат технічних наук, доцент; **Верхоланцева В. О.**, кандидат технічних наук, доцент; **Паляничка Н. О.**, кандидат технічних наук, доцент; **Михайлов Є. В.**, доктор технічних наук, професор, **Червоткіна О. О.**, інженер

Рецензенти:

Дейниченко Г. В., доктор технічних наук, завідувач кафедри процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М. І. Беляєва Харківського державного університету харчування і торгівлі

Прісс О. П., доктор технічних наук, завідувач кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

П 84 Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси: Підручник / В. С. Бойко, К. О. Самойчук, В. Г. Тарасенко, В. О. Верхоланцева, Н. О. Паляничка, Є. В. Михайлов, О. О. Червоткіна. – Київ : ПрофКнига, 2021. – 468 с.

ISBN 978-617-7762-09-5

УДК 664.002.5(075)

Підручник «Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси» призначений для здобувачів ступеня вищої освіти зі спеціальностей «Галузеве машинобудування» і «Харчові технології», магістрів, аспірантів, викладачів і працівників агропромислового комплексу.

© Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г.,
Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О.,
Михайлов Є. В., Червоткіна О. О., 2021
© Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного, 2021
© ПрофКнига, 2021

ЗМІСТ

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ	9
1.1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»	9
1.1.1. Зміст і завдання курсу «Процеси і апарати харчових виробництв»	9
1.1.2. Історія розвитку науки про процеси і апарати	11
1.1.3. Класифікація основних процесів харчових виробництв	14
1.1.4. Основні типи технологічних процесів	18
1.1.5. Основні типи апаратів харчової промисловості	20
1.1.6. Принципи розрахунку процесів, машин і апаратів	22
<i>Контрольні питання</i>	25
1.2. НАУКОВІ ОСНОВИ І ПОЛОЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	26
1.2.1. Основні етапи технологічних процесів харчових виробництв	26
1.2.2. Закони збереження маси і енергії	26
1.2.3. Закони рівноваги систем	28
1.2.4. Рушійна сила процесу	29
1.2.5. Закони кінетики перебігу процесу	31
1.2.6. Основи раціональної побудови апаратів	34
<i>Контрольні питання</i>	48
1.3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ	50
1.3.1. Методи моделювання процесів і апаратів	50
1.3.2. Аналітичний і експериментальний методи досліджень	52
1.3.3. Теорія подібності фізичних явищ	55
1.3.4. Теореми подібності систем	59
1.3.5. Отримання критеріїв досліджуваних явищ із відомих критеріїв-комплексів	63
<i>Контрольні питання</i>	69
РОЗДІЛ 2. МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	71
2.1. ПРОЦЕСИ ПОДРІБНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І СИРОВИНИ	71
2.1.1. Фізичні основи процесу подрібнення	71
2.1.2. Основи теорії дроблення	77
2.1.3. Класифікація подрібнювальних машин	81
2.1.4. Конструкції подрібнювальних машин	82

<i>Контрольні питання</i>	97
2.2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	99
2.2.1. Способи різання харчових матеріалів	99
2.2.2. Параметри процесу різання	101
2.2.3 Характеристика різальних пристроїв	107
2.2.4 Способи різання харчових продуктів	112
<i>Контрольні питання</i>	125
2.3. ПРОЦЕСИ СОРТУВАННЯ ТА КАЛІБРУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ	127
2.3.1 Сутність і задачі сортування	127
2.3.2. Ділильний фактор і характер процесу сортування	131
2.3.3. Характеристика процесу сепарування	133
2.3.4. Способи просіювання матеріалу на ситах	134
2.3.5. Ситовий аналіз сипких матеріалів	137
2.3.6. Ефективність сепарування	138
2.3.7. Конструкції машин і способи сепарування	141
2.3.8. Елементи теорії ситових сепараторів	143
2.3.9. Сепарування на циліндричних обертових решетах	147
<i>Контрольні питання</i>	149
2.4. РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ В ТРІЄРАХ: ПНЕВМАТИЧНЕ, ГІДРАВЛІЧНЕ І МАГНІТНЕ СЕПАРУВАННЯ	151
2.4.1. Сепарування в циліндричних трієрах	151
2.4.2. Теоретичні аспекти процесу у циліндричних трієрах	153
2.4.3. Сепарування в дискових трієрах	158
2.4.4. Повітряне сепарування	163
2.4.5. Гідравлічне сепарування	168
2.4.6. Магнітне сепарування	171
2.4.7. Елементи теорії магнітного сепарування	175
<i>Контрольні питання</i>	181
2.5. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ СЕПАРУВАННЯ СИРОВИНИ ТА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	183
2.5.1. Характеристика процесів сепарування та їх застосування у виробничих технологіях	183
2.5.2. Оснащення процесу сепарування машинами та апаратами	186
2.5.3. Класифікація способів очищення та сортування зерна	193
2.5.4. Фізико–механічні властивості зернових сумішей	198
2.5.5. Елементи теорії переміщення матеріалу по плоскому решету	202
2.5.6. Теоретичні основи розділення зерна в трієрних барабанах	208

2.5.7. Фрикційне та пневматичне сепарування	214
2.5.8. Типи вентиляторів та теорія їх розрахунку	220
<i>Контрольні питання</i>	224
2.6. ОБРОБКА ХАРЧОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ	225
2.6.1. Характеристика процесу пресування	225
2.6.2. Класифікація процесів пресування харчових продуктів	227
2.6.3. Основи теорії пресування	230
2.6.4. Віджимання рідини з матеріалу	240
2.6.5. Брикетування харчових продуктів та кормів	245
2.6.6. Фізичні основи процесу гранулювання	263
<i>Контрольні питання</i>	277
2.7. ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	279
2.7.1. Класифікація формувальних машин	279
2.7.2. Процеси формоутворення в шнекових пресах	281
2.7.3. Елементи теорії розрахунку формотворчих пресів	283
2.7.4. Формування харчових продуктів методом екструзії	287
2.7.5. Класифікація і характеристика екструдерів	289
2.7.6. Елементи теорії формування харчових продуктів	291
2.7.7. Обладнання для формування харчових продуктів методом екструзії	294
<i>Контрольні питання</i>	302
РОЗДІЛ 3. ГІДРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ	304
3.1. ОСАДЖЕННЯ ПІД ДІЄЮ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ	304
3.1.1. Відстоювання під дією гравітаційного поля	304
3.1.2. Елементи теорії процесу осадження	306
3.1.3. Розрахунок основних параметрів відстійників	310
3.1.4. Обладнання для відстоювання і осадження	314
3.1.5. Розділення неоднорідних сумішей методом флотації	322
<i>Контрольні питання</i>	325
3.2. ОСАДЖЕННЯ В ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ	327
3.2.1. Процес центрифугування рідких сумішей	327
3.2.2. Елементи теорії процесу відцентрового осадження	330
3.2.3. Класифікація центрифуг	335
3.2.4. Машини для центрифугування сільськогосподарської продукції	336
<i>Контрольні питання</i>	343
3.3. РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ СЕПАРУВАННЯМ	345
3.3.1. Класифікація рідинних сепараторів	345
3.3.2. Робочий процес сепарування	347

3.3.3. Теоретичні основи процесу сепарування	351
3.3.4. Конструкції сепараторів і сепараторних барабанів	361
<i>Контрольні питання</i>	370
3.4. ФІЛЬТРУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ	372
3.4.1. Загальні відомості	372
3.4.2. Види фільтрування харчових продуктів	375
3.4.3. Рушійна сила процесу фільтрування	376
3.4.4. Матеріальні баланси процесу фільтрування	378
3.4.5. Кінетика процесу фільтрування	380
3.4.6. Теоретичні основи процесу фільтрування	381
3.4.7. Загальна характеристика фільтрувальних апаратів	387
<i>Контрольні питання</i>	395
3.5. РУХ РІДИНИ АБО ГАЗУ В ШАРІ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ	397
3.5.1. Загальні відомості	397
3.5.2. Процес псевдозрідження	398
3.5.3. Фізичні основи псевдозрідження	402
3.5.4. Елементи теорії руху рідини або газу в шарі зернистого матеріалу	406
3.5.5. Конструкції апаратів і установок з псевдозрідженим шаром	411
<i>Контрольні питання</i>	421
3.6. ПРОЦЕС ПЕРЕМІШУВАННЯ ХАРЧОВИХ СЕРЕДОВИЩ	423
3.6.1. Перемішування рідких харчових середовищ	423
3.6.2. Конструкції перемішувальних пристроїв	428
3.6.3. Елементи теорії процесу перемішування рідких середовищ	436
<i>Контрольні питання</i>	441
3.7. РОЗДІЛЕННЯ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ НАПІВПРОНИКНИХ МЕМБРАН	442
3.7.1. Основні положення мембранних процесів	442
3.7.2. Баромембранні процеси	445
3.7.3. Дифузійно-мембранні процеси	454
3.7.4. Електро-мембранні процеси	458
3.7.5. Термомембранні процеси	460
<i>Контрольні питання</i>	461
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	463

ВСТУП

Використання прогресивних технологій і нового обладнання пов'язані з глибокими дослідженнями закономірностей фізико-хімічних процесів в апаратах, призначених для переробки сировини і виробництва харчових продуктів.

Будь-який технологічний процес виробництва харчової продукції являє собою ряд взаємопов'язаних типових технологічних операцій, що протікають в апаратах певного класу. Особливостями цих технологічних процесів, що визначають специфіку отримання харчових продуктів, від подібних процесів в інших галузях харчових виробництв є високі вимоги до якості продукції, ефективності виробництва, зниження його енерговитрат і матеріаломісткості, охорони навколишнього середовища і технічної безпеки.

Курс «Процеси і апарати харчових виробництв», представлений в даному підручнику, по суті є теоретичною основою харчової технології, який дозволяє проаналізувати і розрахувати процес, визначити оптимальні параметри, розробити і розрахувати апаратуру для його проведення.

В даному підручнику розглядаються наступні основні питання: вивчення теорії механічних і гідромеханічних процесів харчових виробництв і рушійних сил, під дією яких вони протікають; методи розрахунку апаратів і машин, які дозволяють знаходити оптимальні параметри і конструкцію апаратів для його здійснення; вивчення будови і принципу дії промислових апаратів, в яких здійснюються процеси; вивчення закономірностей переходу від лабораторних процесів до промислових.

Підручник «Процеси і апарати харчових виробництв. Механічні і гідромеханічні процеси» підготовлений у відповідності з програмою курсу «Процеси і апарати» за спеціальностями «Галузеве машинобудування», «Харчові технології».

Курс «Процеси і апарати харчових виробництв» викладено в трьох розділах (розділи 1, 2,3).

У першому розділі наведені основні закони і положення курсу.

У другому розділі надана характеристика і аналіз механічних процесів а також конструкцій машин і апаратів, які забезпечують дані процеси.

В третьому розділі приведений аналіз гідромеханічних процесів (гравітаційне і відцентрове осадження, фільтрування, сепарування, псевдозрідження та перемішування харчових середовищ).

Вчення про процеси і апарати засноване на фундаментальних законах фізики, хімії, математики, ряду інженерних і економічних дисциплін – механіки, теплотехніки, електротехніки, матеріалознавства, промислової економіки та інших суміжних дисциплін, які являються базою курсу. Проте, як наука про процеси і апарати має свій чітко окреслений предмет, експериментальні та розрахункові методи і теоретичні закономірності.

Одним з основних завдань при написанні підручника є формування науково-технічного мислення, творчого застосування отриманих знань в діяльності майбутнього інженера. Цьому в значній мірі відповідає структура навчальних тем і перелік контрольних питань, що дозволяє організувати контроль якості засвоєння навчального матеріалу студентами, а студенту реально оцінити свою підготовку за допомогою тестів, наведених в кожній темі.

Гідромеханіка є одним з основних розділів науки про процеси харчових виробництв. Вивчення кожного процесу переробки рідких і газоподібних продуктів не обходиться без використання законів гідравліки. І хоча ця наука вже давно відокремилася в самостійну дисципліну, її прикладні питання включені в даний курс як окремий розділ, направлений на пояснення гідравлічних складових складних процесів, які протікають в машинах і апаратах харчових виробництв.

Даний підручник призначений для студентів закладів вищої освіти аграрного і харчового профілю. Крім того, він може бути використана викладачами для підготовки курсу лекцій за даною дисципліною, конструкторами, для розрахунку технологічних апаратів і окремих вузлів машин харчових виробництв, аспірантами для теоретичних обґрунтувань гідравлічних складових складних процесів, які протікають в машинах і апаратах харчових виробництв.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ

1. 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»

1.1.1. ЗМІСТ І ЗАВДАННЯ КУРСУ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ»

Головним напрямком збільшення виробництва продуктів харчування є розвиток прогресивної технології, що забезпечує високоефективні процеси, використання яких значно підвищує продуктивність праці, скорочує негативний вплив на навколишнє середовище і сприяє економії початкової сировини, паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів.

Науково-технічний прогрес в харчовій промисловості пов'язаний з формуванням нових знань та ідей, технологічним освоєнням наукових відкриттів, винаходів, результатів досліджень і розробок, впровадженням передових технологій, прогресивної техніки.

Розробка і впровадження прогресивних технологій і нового обладнання пов'язані з глибокими дослідженнями закономірностей фізико-хімічних процесів в апаратах, призначених для переробки сировини і виробництва харчових продуктів.

Курс «Процеси і апарати харчових виробництв» є спеціальним перехідним курсом від загальноінженерного циклу дисциплін до спеціального для інженерів-технологів і інженерів-механіків харчових виробництв. Сучасне вчення про процеси і апарати спирається на міцний фундамент хімії, фізики, математики, ряду інженерних і економічних дисциплін механіки, теплотехніки, електротехніки, технічної кібернетики, матеріалознавства, промислової економіки та інших суміжних галузей знань, які є базою курсу. Однак, як наука, вчення про процеси і апарати має свій ясно окреслений предмет, свої експериментальні та розрахункові методи і теоретичні закономірності. В курсі «Процеси і апарати харчових виробництв» вивчаються сукупність фізичних, біохімічних процесів і шляхи їх здійснення в промисловому виробництві різних продуктів в конкретних техніко-економічних умовах. При цьому звертається особлива увага на їх економічну доцільність.