

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

**КОНСТРУКЦІЇ І РОЗРАХУНКИ МАШИН
ТА АПАРАТІВ ПЕРЕРОБНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

Підручник для здобувачів вищої освіти

Мелітополь
2021

УДК 664.002.5 (075)
К 65

*Рекомендовано Вченою радою Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного як підручник
для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності
133 «Галузеве машинобудування»
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;
Ломейко О. П., кандидат технічних наук, доцент; **Олексієнко В. О.**, кандидат
технічних наук, доцент; **Петриченко С. В.**, кандидат технічних наук, доцент;
Пупинін А. А., інженер, **Гавдида Г. І.**, 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

Караєв О. Г., доктор технічних наук, завідувач кафедри
сільськогосподарських машин Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного

**К 65 Конструкції і розрахунки машин та апаратів переробних
виробництв:** підручник / В. С. Бойко, К. О. Самойчук, В. Г. Тарасенко,
О. П. Ломейко, В. О. Олексієнко, С. В. Петриченко, А. А. Пупинін,
Г. І. Гавдида. – Київ, ПрофКнига, 2021. – 320 с.

ISBN 978-617-7762-10-1

УДК 664.002.5 (075)

Підручник «Конструкції і розрахунок машин та апаратів переробних
виробництв» 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.,
Ломейко О. П., Олексієнко В. О., Петриченко С. В.,
Пупинін А. А., Гавдида Г. І.,
© Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного, 2021
© ПрофКнига, 2021

ЗМІСТ

Передмова	7
РОЗДІЛ 1. МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПІЛЬНИХ ТЕПЛО– МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ	8
1.1. Обладнання та машини для сушіння харчових продуктів	8
1.1.1. Характеристика процесу сушіння	8
1.1.2. Класифікація сушильних машин	9
1.1.3. Конструкції та розрахунки сушильних машин	11
1.1.3.1. Конвективне сушіння матеріалів	11
1.1.3.2. Кондуктивний спосіб сушіння	25
1.1.3.3. Сублімаційне сушіння продуктів	29
1.1.3.4. Спеціальні методи сушіння	31
1.2. Конструкції та розрахунок параметрів камерних сушильних апаратів	36
1.2.1. Способи підведення теплоти та чинники процесу сушіння	36
1.2.2. Загальні способи процесу сушіння	40
1.2.3. Конструкції і розрахунок пневматичної сушарки	44
1.2.4. Конструкції і розрахунок камерної сушарки	48
1.2.4.1. Конструкції камерних сушильних апаратів	48
1.2.4.2. Теоретичні основи розрахунку камерної сушарки	52
1.2.5. Розрахунок конструктивних параметрів камерної сушарки	58
1.2. Конструкції і розрахунок робочих елементів машин з оболонками, що повільно обертаються	62
1.3.1. Технологічний процес видалення вологи методом сушіння	62
1.3.2. Конструкції та принцип дії барабанних сушарок	65
1.3.3. Теоретичні основи розрахунку барабанної сушарки	72
1.3.4. Розрахунок конструктивних параметрів барабанної сушарки	75
1.3.5. Елементи теорії розрахунку машини з оболонкою	77
1.3.6. Розрахунок параметрів барабанної машини з оболонкою	81
1.4. Розрахунки конвективних сушарок графоаналітичним методом	87
1.4.1. Наукові основи процесу сушіння вологих продуктів	87
1.4.2. Будова I–d діаграми стану вологого повітря	92
1.4.3. Варіанти процесу сушіння з застосуванням I–d діаграми	95
1.4.4. Теоретичний розрахунок робочого процесу сушарки	98
1.4.5. Розрахунок конструктивних параметрів тунельної сушарки	102
1.4.6. Розрахунок дійсного робочого процесу сушарки	103
1.5. Конструкції і розрахунок апаратів для простої дистиляції сумішей	109
1.5.1. Дистиляція бінарних сумішей	109
1.5.1.1. Сутність процесу простої дистиляції	109

1.5.1.2. Апарати для проведення простої перегонки	112
1.5.2. Методи проведення простої дистиляції	114
1.5.2.1. Бінарна проста дистиляція	114
1.5.2.2. Фракційна дистиляція	115
1.5.2.3. Проста дистиляція з дефлегмацією	118
1.5.2.4. Дистиляція з водяною парою	119
1.5.3. Додаткове обладнання для виробництва спирту	121
1.5.3.1. Технологічна схема підготовки сировини	121
1.5.3.2. Змішувач – передрозварник	122
1.5.3.3. Варочні апарати	123
1.5.3.4. Апарати для охолодження і оцукрювання	127
1.5.3.5. Бродильні чани	128
1.6. Розрахунок процесу перегонки бінарних сумішей в ректифікаційних колонах	133
1.6.1. Фізико–хімічні основи процесу ректифікації	133
1.6.2. Принцип дії браго ректифікаційних пристроїв	138
1.6.3. Принципові схеми процесів ректифікації, та будова ректифікаційних колон	141
1.6.3.1. Періодично діючі ректифікаційні установки	141
1.6.3.2. Екстрактивна ректифікація	142
1.6.3.3. Азеотропна ректифікація	144
1.6.4. Елементи теорії та розрахунок ректифікаційної колони	146
РОЗДІЛ 2. АПАРАТИ ТА МАШИНИ ДЛЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ	152
2.7. Теоретичні основи і машинно–апаратне оформлення сорбційних процесів	152
2.7.1. Характеристика процесу сорбції	152
2.7.1.1. Загальні відомості	152
2.7.1.2. Сутність процесу абсорбції	153
2.7.2. Конструкції і принцип дії абсорберів	156
2.7.2.1. Поверхневі абсорбери	156
2.7.2.2. Барботажні абсорбери	157
2.7.2.3. Розпилювальні абсорбери	160
2.7.3. Конструкції і розрахунок плівкових абсорберів	161
2.7.3.1. Типи плівкових абсорберів	161
2.7.3.2. Елементи теорії розрахунку плівкових абсорберів	163
2.8. Будова, принцип дії і розрахунок абсорбційних апаратів	167
2.8.1. Загальні відомості з процесу абсорбції	167

2.8.1.1. Технологія проведення процесу	167
2.8.1.2. Принципові схеми абсорбції	168
2.8.2. Класифікація і конструкційні схеми абсорберів	172
2.8.2.1. Класифікація абсорберів	172
2.8.2.2. Основні критерії вибору абсорберів	175
2.8.3. Характеристика та будова абсорбційних апаратів	176
2.8.3.1. Тарілчасті барботажні колони	176
2.8.3.2. Розпилюючі абсорбери	179
2.8.3.3. Абсорбери з механічним перемішуванням	179
2.8.3.4. Колони абсорбції з псевдозрідженим шаром	181
2.8.4. Теоретичні основи процесу абсорбції	182
2.8.4.1. Елементи теорії розрахунку абсорберів	182
2.8.5. Розрахунок основних параметрів абсорберів	187
2.8.5.1. Конструкції насадкових абсорберів	187
2.8.5.2. Розрахунок насадкового абсорбера	190
2.9. Теоретичні основи і машино – апаратне забезпечення процесу адсорбції	195
2.9.1. Технологічні аспекти процесу адсорбції	195
2.9.1.1. Характеристика процесу адсорбції	195
2.9.1.2. Процес десорбції	198
2.9.2. Промислові адсорбенти та іоніти	200
2.9.3. Конструкції, принцип дії і розрахунок адсорберів	206
2.9.3.1. Вугільний адсорбер з нерухомим шаром адсорбента	207
2.9.3.2. Розрахунок вугільного адсорбера	209
2.9.3.3. Адсорбер з рухомим шаром адсорбента	209
2.9.3.4. Адсорбери з псевдозрідженим шаром	211
2.9.5. Теоретичні основи розрахунку адсорбера	212
2.10. Конструкції дифузійних апаратів та розрахунок параметрів екстракторів	215
2.10.1. Сутність і область застосування процесу	215
2.10.1.1. Загальна характеристика процесу екстрагування	215
2.10.1.2. Технологічні процеси з застосуванням екстракції	216
2.10.1.3. Методи екстракційного поділу та стадії процесу	218
2.10.2. Теоретичні основи процесу екстрагування	222
2.10.2.1. Основний закон молекулярної дифузії	222
2.10.2.2. Визначення параметрів екстракторів періодичної дії	223
2.10.2.3. Визначення параметрів екстракторів безперервної дії	225
2.10.3. Конструкції та принцип дії екстракторів	228
2.10.3.1. Класифікація екстракторів	228

2.10.3.2. Колонні вертикальні дифузійні апарати	230
2.10.3.3. Ротаційні дифузійні апарати	232
2.10.3.4. Шнекові дифузійні апарати	234
2.10.3.5. Вимоги до екстракційного обладнання	239
2.10.4. Елементи теорії і розрахунок шнекових екстракторів	240
2.11. Машино–апаратне оснащення процесу виробництва цукру методом кристалізації	247
2.11.1. Основи виробництва цукру – піску	247
2.11.1.1. Підготовка сировини до виробництва	247
2.11.1.2. Переробка бурякової стружки екстракцією	251
2.11.2. Характеристика процесу кристалізації	258
2.11.2.1. Застосування кристалізації в харчовій технології	258
2.11.2.2. Характеристика кристалів	260
2.11.3. Будова і принцип дії кристалізаторів	262
2.11.3.1. Основи теорії розрахунку кристалізаторів	262
2.11.3.2. Класифікація і принцип дії кристалізаторів	266
2.11.4. Виробництво цукру–рафінаду	271
2.12. Конструкції машин для пророщування солоду і розрахунок барабанних солодовень	284
2.12.1. Основи технологічного процесу вирощування солоду	284
2.12.1.1. Стадії технологічного процесу вирощування солоду	284
2.12.1.2. Машини та апарати лінії переробки солоду	284
2.12.2. Стаціонарні пристрої для пророщування ячменю	286
2.12.3. Конструкції механічних солодовень барабанного типу з плоским ситом	303
2.12.3.1. Будова та принцип дії барабанної солодовні з плоским ситом	303
2.12.3.2. Розрахунок основних параметрів камери барабану	304
2.12.4. Конструкції і розрахунок солодовень барабанного типу з сітчастими трубами	308
2.12.4.1. Характеристика, та принцип дії барабанної солодовні	308
2.12.4.2. Розрахунок барабанної солодовні з сітчастими трубами	309
Список літератури	315

ПЕРЕДМОВА

Суттєва роль у вирішенні проблеми забезпечення населення повноцінними продуктами харчування належить галузі з переробки сільськогосподарської продукції. Збільшення об'ємів виробництва харчових продуктів повинно супроводжуватись підвищенням їх якості та розширенням асортименту.

Проблема зберігання та переробки сільськогосподарських продуктів однаково актуальна і для великих і для малих підприємств різних форм власності. В зв'язку з цим виникає реальна потреба в підготовці спеціалістів саме такого профілю.

Випуск високоякісної харчової продукції можливий тільки за умов використання сучасних видів технологічного обладнання. Досягнення високих технічних показників у його роботі, добре знання тепло-масообмінних процесів, які відбуваються на різних стадіях виробництва, будови технологічного обладнання та прийомів раціональної його експлуатації. Це полегшує оцінку досконалості обладнання, сприяє підвищенню його надійності та довговічності, забезпечує правильний вибір потужності та режиму роботи.

Велике значення в сучасний момент є розуміння екологічної ситуації та її драматичних проблем, яке створює стурбованість, тривогу, бажання активно брати участь в її виправленні. Оволодівши теоретичними основами та методами розрахунку машин або апаратів, фахівець може розрахувати і проектувати апарати, які дозволяють проводити екологічно чисті технології.

"Розрахунки і конструювання машин і апаратів" – одна з основних профільюючих дисциплін, які формують професійний рівень майбутнього фахівця.

Для ефективного засвоєння матеріалу майже в усіх розділах наведено приклади розрахунків. Оскільки українська технічна література не має систематизованих підручників, в яких всебічно були б висвітлені питання будови і розрахунку обладнання харчових виробництв, цей підручник має на меті частково заповнити названу прогалину.

РОЗДІЛ 1. МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПІЛЬНИХ ТЕПЛО– І МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

1.1. ОБЛАДНАННЯ ТА МАШИНИ ДЛЯ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І СИРОВИНИ

1.1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Сушіння – це процес термічної обробки матеріалу з метою зниження його вологості, в результаті чого покращується якість продукції, запобігається її псування і злежування, зніжується вага та покращуються умови транспортування і зберігання.

Під час консервування сушінням внаслідок випаровування з продукту видаляється частина вологи. Якщо овочі, м'ясо, рибу висушити до вмісту в них вологи 12...14%, а плоди – до 15...25%, то в них припиняється життєдіяльність мікроорганізмів і тим самим створюються умови для тривалого зберігання продуктів. У деяких випадках харчові продукти сушать для поліпшення умов їх переробки (наприклад, сушіння солоду і рибних відходів перед їх подрібненням).

Залежно від властивостей висушуваних продуктів та умов технологічного процесу застосовують різні способи сушіння, що забезпечують високу якість готового продукту, збереження його харчової цінності і раціональне ведення процесу. На видалення 1 кг вологи під час сушіння затрачається велика кількість теплової або електричної енергії, тому там, де це можливо, вологу видаляють до сушіння пресуванням, випаровуванням, центрифугуванням або фільтруванням.

У консервному й овочесушильному виробництві переважає конвективний спосіб сушіння, за якого повітря, температура якого вища за температуру продукту, стикається з продуктом, віддає йому частину теплоти і вбирає вологу з нього. Застосовують також інші способи сушіння: контактний, коли тепло передається висушуваному продукту через контактну з ним поверхню нагрівання; радіаційний, коли тепло передається тепловими (інфрачервоними)