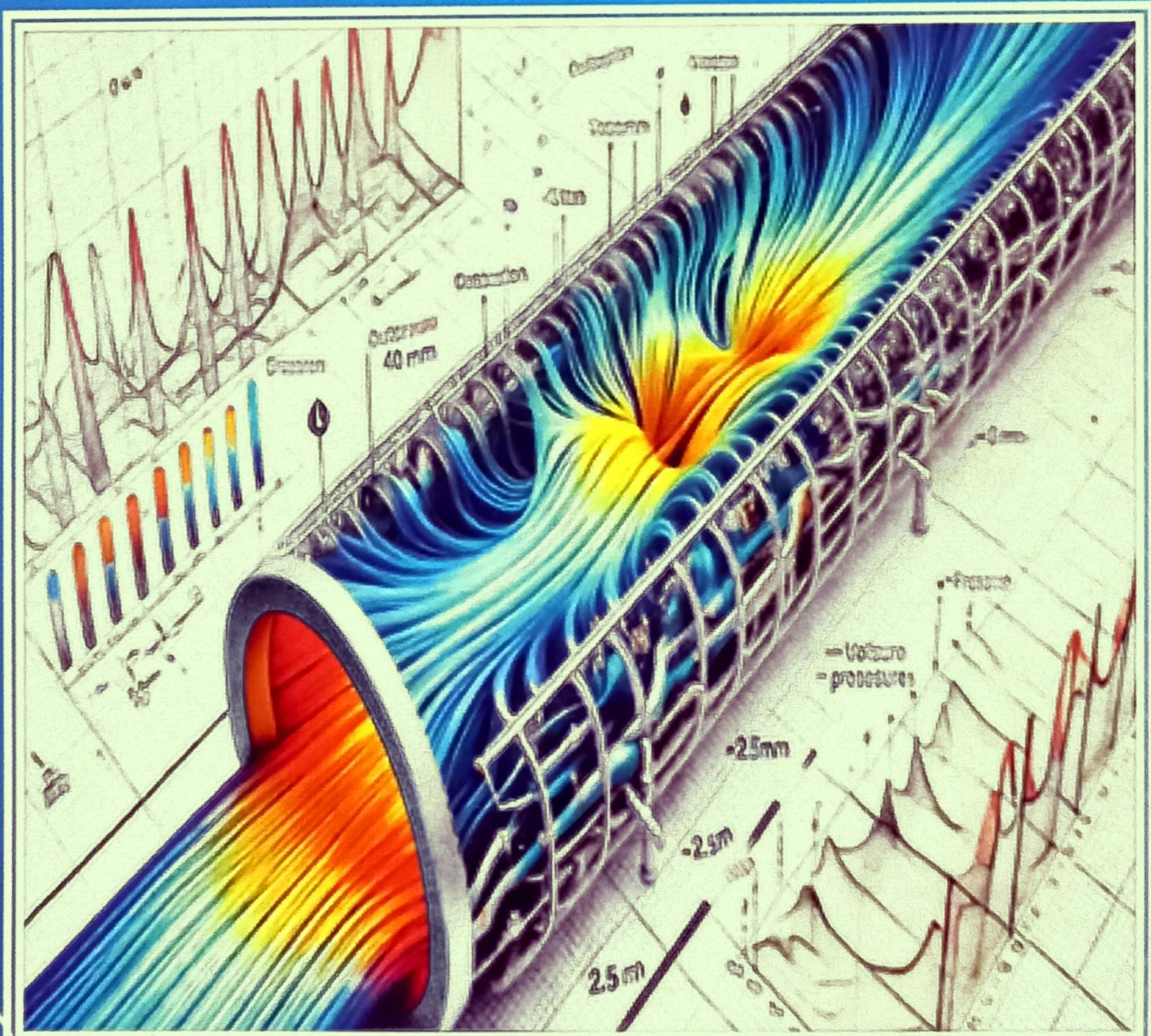


# УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОМАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ У БРОДИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

*Монографія*

За редакцією доктора технічних наук,  
професора Піддубного В. А.



Міністерство освіти і науки Україн

УДОСКОНАЛЕННЯ  
ЕНЕРГОМАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ  
У БРОДИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Монографія

За редакцією доктора технічних наук,  
професора Піддубного В. А.

Київ



2024

Автори:

В. А. Піддубний, д-р. техн. наук, професор;  
І. Я. Стадник, д-р. техн. наук, професор;  
Л. М. Хомічак; д-р. техн. наук, професор;  
А. В. Деркач, кан. техн. наук.

Рецензенти: Паламарчук І. П., докт. техн. наук, професор, професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК, НУБіП України;

Сухенко В. Ю., докт. техн. наук, професор, професор кафедри харчових технологій Черкаського державного технологічного університету;

Пилипець М. І., докт. техн. наук, професор, професор кафедри машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пуллюя.

*Рекомендовано до друку Вченю радою Інституту продовольчих ресурсів НААНУ  
Протокол № 7 від 27 серпня 2024 р.*

C76 Піддубний В.А., Стадник І.Я., Хомічак Л.М., Деркач А.В. Удосконалення енергоматеріальних потоків у бродильних виробництвах / за ред. д.т.н., проф. Піддубного В.А. – К.: Кондор, 2024. – 460 с.

ISBN 978-966-305-074-4

УДК 663.1; 663.4; 664.7

В монографії розкрито гострі проблеми по забезпеченню якісного проходження технологічного процесу в бродильних середовищах та забезпечення шляхів удосконалення матеріальних потоків, що пов'язані із випуском харчової продукції. Подано інноваційний підхід до енергетичних потоків по забезпеченням масообміну, теплообміну і якості транспортування сировини та готової продукції. Наведено результати аналізу сукупностей енергоматеріальних потоків і теоретичне підґрунтя удосконалення процесів енерго- і масообміну у виробництві солоду, спирту, технологій забезпечення довготривалого зберігання харчової продукції. Значна увага приділена удосконаленню технологій енергозбереження бродильних технологій та їх апаратурного оформлення, оцінці впливових факторів на процес. Пропонуються напрямки інновацій щодо традиційних технологій харчових виробництв.

Видання призначена для працівників промисловості, а також для студентів, магістрантів і аспірантів вищих і середніх спеціальних навчальних закладів, що стосуються харчової і переробної промисловостей.

ISBN 978-966-305-074-4

© Піддубний В. А., Стадник І. Я.,  
Хомічак Л. М., Деркач А. В. .... 2024  
© Інституту продовольчих ресурсів  
НААНУ..... 2024  
© ДНУ «УкрІДспиртбіопром» ... 2024

## ЗМІСТ

Вступ .....	9
<b>РОЗДІЛ 1. ВЗАЄМОДІЯ І ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕНЕРГОМАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Загальні положення .....	12
1.2. Трансформація енергії в процесних пошуках .....	17
1.3. Енергопотоки в харчових технологіях .....	22
1.4. Історичні зміни досягнень і розвитку наукового потенціалу в харчових технологіях .....	26
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СОЛОДУ .....</b>	<b>34</b>
2.1. Аналітичний огляд стану питання .....	34
2.2. Узагальнення процесів пророщування ячменю .....	43
2.3. Удосконалення апаратурного забезпечення процесів сушки солоду .....	54
2.4. Методологія розрахунків передавання зерновою масою на солодовнях .....	64
2.5. Конструкції гвинтових конвейерів для транспортування зернової маси на солодовнях .....	76
2.6. Основні результати і висновки до розділу .....	89
<b>РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДОВИХ СУСЛА ПРИ БРОДІННІ .....</b>	<b>94</b>
3.1. Загальні положення .....	94

3.2. Фізико-хімічні і мікробіологічні взаємодії складових сусла .....	106
3.3. Спиртове бродіння як анаеробний гліколіз .....	109
3.4. Температурні стреси на дріжджові клітини і на розчинність CO <sub>2</sub> у пиві .....	113
3.4.1. Особливості термодинамічних та гідродинамічних режимів рівнів енергетичних потенціалів .....	117
3.4.2. Енергетичний потенціал середовищах при бродінні .....	127
3.4.3. Ефекти енергоімпульсних знижень тисків у газорідинічних середовищах .....	138
3.5. Методика дослідження стійкості пива .....	143
3.5.1. Матеріали і методи дослідження .....	143
3.5.2. Аналіз дослідження стійкості пива .....	145
3.5.3. Органолептична оцінка пива .....	150
3.6. Основні результати і висновки до розділу .....	157
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДОВИХ ПРИ ЗБРОДЖУВАННІ СЕРЕДОВИЩ</b>	<b>162</b>
4.1. Загальні положення .....	162
4.2. Аналіз процесів розварювання та оцукрювання зернової маси .....	163
4.3. Особливості суміщення процесів бродіння та вилучення етилового спирту .....	173
4.3.1. Специфіка аеробного зброджування .....	173
4.3.2. Особливості тепло- і енергообміну між клітиною і середовищем ...	175
4.3.3. Специфіка суміщення процесів бродіння та вилучення етилового спирту за рахунок адіабатного кипіння .....	179

4.3.4. Можливості вилучення етилового спирту потоком диспергованої газової фази .....	183
4.4. Теоретичне дослідження динаміки видалення парів етилового спирту, води та вуглекислого газу .....	186
4.4.1. Виникнення диспергованої газової фази при зниженні тиску в бродильному апараті .....	187
4.4.2. Зміна діаметрів бульбашок диспергованої газової фази при спливанні .....	192
4.4.3. Швидкість підйому диспергованої газової фази в необмеженому об'ємі рідини .....	194
4.4.4. Виділення диспергованої газової фази з сусла в одиницю часу .....	197
4.4.5. Визначення часу від утворення бульбашки до її відриву .....	200
4.4.6. Енергетичний та масовий потік від сусла до диспергованої газової фази .....	201
4.5. Термодинамічні процеси при змішуванні компонентів .....	205
4.5.1. Аналіз проведених досліджень .....	207
4.6. Енергоефективність поверхні фазового контакту .....	221
4.7. Взаємодія продукту з рухомими і нерухомими поверхнями .....	227
4.7.1. Аналізу процесів у зоні контакту поверхня-продукт .....	228
4.8. Основні результати і висновки до розділу .....	232
<b>РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ПО УДОСКОНАЛЕННЮ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА СОЛОДУ .....</b>	<b>234</b>
5.1. Задачі і обладнання для аерації замочних чанів .....	235
5.2. Задачі і обладнання для забезпечення процесів пророщування солоду кондиціонованим повітрям .....	239

5.3. Розробки по реконструкції сушарок солоду .....	245
5.4. Оцінка енергетичних втрат і пропозицій по рекуперації теплової енергії на сушарках .....	246
5.5. Основні результати і висновки до розділу .....	257
<b>РОЗДІЛ 6. ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ .....</b>	<b>260</b>
6.1. Характерні особливості фізичної та хімічної обробки продукції .....	260
6.2. Аналіз обробки продукції теплом .....	265
6.3. Загальні положення при стерилізації і пастеризації .....	283
6.3.1. Фактори, що визначають час стерилізації .....	288
6.4. Стерилізація під час нагрівання і охолодження .....	291
6.4.1. Стерилізація рідин .....	293
6.5. Дослідження процесів охолодження хлібобулочних виробів вакуумно-випарним способом .....	294
6.5.1. Порівняльний аналіз вакуумно-випарного і конвективного способу охолодження капілярно-пористих тіл .....	294
6.5.2. Фізичні процеси, які відбуваються при вакуум-випарному способі охолодження хлібобулочних виробів .....	300
6.5.3. Методи використання вакуумного способу на виробництві .....	301
6.5.4. Дослідження процесів охолодження вакуумно-випарним способом хлібобулочних виробів .....	302
6.6. Псування продуктів під час теплового оброблення .....	308
6.6.1. Теоретичне обґрутування високотемпературної короткочасної стерилізації ВТКС .....	310

6.7. Режими стерилізації та пастеризації .....	312
6.7.1. Пастеризація пива .....	317
6.8. Визначення динаміки тиску в пляшках у процесі пастеризації .....	322
6.9. Нові пакувальні матеріали в технологіях довготривалого зберігання продукції .....	328
6.10. Основні результати і висновки до розділу .....	331
<b>РОЗДІЛ 7. МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ БАРБОТАЖНИХ ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ФЛУКТУАЦІЙ ЗОВНІШНІХ ТИСКІВ .....</b>	<b>334</b>
7.1. Динаміка газорідинних систем в умовах флуктуацій зовнішніх тисків .....	334
7.1.1. Фаза стискання середовища .....	338
7.1.2. Фаза розширення газорідинного середовища .....	342
7.2. Динаміка флуктуацій тисків в середовищах з врахуванням дисипативних явищ .....	345
7.3. Динаміка газорідинних середовищ за лінійних законів зміни тисків .....	353
7.4. Динаміка газорідинної системи за синусоїального закону зміни тиску .....	358
7.5. Планування і постановка обчислювальних експериментів .....	362
<b>РОЗДІЛ 8. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПОТОКУ В АПАРАТАХ ОБРОБКИ І ФАСУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ .....</b>	<b>386</b>
8.1. Енергоекономічне використання теплових систем .....	388
8.2. Аналіз і синтез енергонакопичувальних систем .....	395

8.3. Розрахунки систем охолодження циліндро-конічних апаратів (ЦКА) у виробництві квасу .....	400
8.3.1. Розрахунок показників системи охолодження ЦКА .....	401
8.3.2. Визначення порівняльних величин коефіцієнтів теплопередачі в розсільній системі .....	403
8.3.3. Параметри системи охолодження на ЦКа40 (з льодяною водою) ....	404
8.4. Оцінка параметрів енергозберігаючих технологічних схем у виробництві напоїв .....	407
8.5. Акумулятори холоду в енергозберігаючих технологіях	416
8.6. Оцінка параметрів енергозберігаючих технологічних схем у випіканні хліба і підведення теплоти в хлібопекарну піч .....	419
8.7. Рекуперація теплоти в тунельних пастеризаторах .....	429
8.8. Основні результати і висновки до розділу .....	440
Перелік використаних літературних джерел .....	442