



Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний університет", Одес. нац. акад. харч. технологій, Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Вінниц. нац. техн. ун-т. - Харків : Друк. Мадрид, 2016. - 412 с. : табл., рис. - Бібліогр.: с. 404-405. - ISBN 978-617-7050-57-4.

Значне розширення інженерного застосування процесів та техніки використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії,

утилізаційних енергетичних систем визначили необхідність поглибленої підготовки фахівців у ньому напрямі в рамках спеціального курсу «Низькопотенційна енергетика» Теоретичною основою є технічна термодинаміка та методи термодинамічного аналізу. Для кращого засвоєння фізичною змісту матеріалу та результатів аналізу та висновків, що стосуються основних положень, в посібнику наведені приклади їх практичного застосування. Зміст навчальною посібника формувався з урахуванням нових напрямків інженерного використання технічної термодинаміки та енергетики, До них відноситься більш поглиблене вивчення спеціальних питань, використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, вторинних енергоресурсів.

Навчальний посібник «Низькопотенційна енергетика» буде корисний студентам вищих технічних навчальних закладів для більш глибокого вивчення дисциплін «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії», «Теплонасосні установки» та «Використання вторинних енергетичних ресурсів у теплопостачанні».

## ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник написано на основі лекцій, що читаються авторами і орієнтований на підготовку студентів технічних спеціальностей, аспірантів та широкого кола спеціалістів.

Доцільність видання навчального посібника «Низькопотенційна енергетика» зумовлена недостатнім рівнем інформаційного забезпечення дисциплін: «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії», «Використання вторинних енергетичних ресурсів в теплопостачанні», «Енергозбереження» для використання в самостійній роботі студентів за кредитно-модульною

системою організації навчального процесу. Автори відчули необхідність поглибленої підготовки фахівців у цьому напрямі в рамках спеціального курсу «Низькопотенційна енергетика».

Теоретичною основою курсу є технічна термодинаміка та методи термодинамічного аналізу. Для кращого засвоєння фізичних основ матеріалу та результатів аналізу та висновків, що стосуються основних положень, в посібнику наведено приклади їх практичного застосування.

Зміст навчального посібника формувався з урахуванням нових напрямків інженерного використання технічної термодинаміки та енергетики. До них відноситься більш поглиблене вивчення спеціальних питань використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, вторинних енергоресурсів. Для глибокого вивчення наводяться методи термодинаміки і термодинамічного аналізу, що є важливою складовою в діяльності сучасного спеціаліста.

Зміст рукопису відповідає навчальним програмам вищевказаних дисциплін і стандартам вищої освіти, сучасним досягненням науки та техніки, вимогам до підручників і навчальних посібників, тобто рівню професійної підготовки фахівця-енергетика. Підбір навчального матеріалу розділів, глав та підрозділів повністю відповідає професійному рівню та умінню фахівця-енергетика, викладеним в освітньо-кваліфікаційній характеристиці.

Крім дидактичних прийомів викладення суті представленої книги, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу та розрахункових методик, у книзі наведені також схеми, цикли та результати розрахунку конкретного устаткування вітчизняного виробництва.

У посібнику надані методи аналізу та розрахунку теплоутилізаційних систем промислових підприємств, які використовуються для виробництва електроенергії. Систематизовано методи розрахунку систем з низькотемпературними джерелами енергії (геотермальної, сонячної і т.д.) та теплонасосними установками.

Наведено методи аналізу та використання біогазових установок в системах теплопостачання.

Матеріал викладено в стислій і однозначно зрозумілій формі з урахуванням вимог, що пред'являються до технічних текстів. Наведені приклади застосування низькопотенційної енергетики у новій техніці в багатьох випадках базуються на особистих дослідженнях і розробках авторів.

Вважаю, що посібник «Низькопотенційна енергетика» відповідає вимогам до навчальної літератури і його видання внесе суттєвий вклад у розвиток методичної бази викладання ряду дисциплін в технічних ВНЗ України, де вивчають впровадження енергозберігаючих технологій, процесів та установок.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ШТУЧНИЙ ХОЛОД.....	7
1.1. Стратегія енергозбереження в галузі використання штучного холоду .....	7
1.2. Основні принципи законодавства України про енергозбереження .....	9
1.3. Основи енергоменеджменту і енергоаудиту об'єктів з виробництва штучного холоду .....	12
1.4. Методологія енергоаудиту холодильних об'єктів .....	14
1.5. Енергозберігаючі холодильні системи .....	21
1.5.1. Перетворення енергії у теплових насосах .....	21
1.5.2. Режими роботи теплових насосів .....	27
1.5.3. Режими експлуатації теплових насосів .....	31
1.5.4. Холодоносії (антифризи).....	33
1.5.5. Джерела низькопотенційної теплоти .....	44
1.6. Техніко-економічні передумови розвитку теплових насосів.....	47
Контрольні питання.....	51
Література.....	52
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОНАСОСНИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	53
2.1. Термодинамічні основи роботи теплонасосних установок .....	53
2.2. Атмосферне повітря.....	60
2.3. Вентиляційне повітря будівель і споруд.....	63
2.3.1. Котеджі та колективні багатоповерхові будівлі.....	63
2.3.2. Підземні споруди .....	65
2.4. Природна вода .....	67
2.4.1. Вода артезіанського походження .....	67
2.4.2. Вода відкритих водойм .....	72
2.4.3. Використання теплоти поверхневих шарів океанських вод .....	74
2.5. Техногенна вода як джерело енергії для ТН .....	76
2.5.1. Скидна вода ТЕС .....	76
2.5.2. Зворотна мережна вода ТЕЦ .....	78
2.5.3. Каналізаційні стоки .....	79
2.5.4. Вода теплових скидів промислових підприємств .....	80
2.6. Використання теплоти ґрунту.....	80
2.6.1. Г горизонтальні ґрунтові теплообмінники .....	81
2.6.2. Вертикальні ґрунтові теплообмінники.....	88
2.7. Використання сонячної енергії для теплових насосів.....	89
2.7.1. Використання сонячної енергії як нижнього джерела теплоти для ТН в системах опалення .....	89

2.7.2. Використання сонячної енергії у верхньому контурі ТН.....	92
2.7.3. Безпосереднє використання сонячної енергії як нижнього джерела теплоти для теплового насоса .....	94
2.8. Використання штучного холоду в геліотехнічних енергозберігаючих системах .....	98
2.9. Використання теплоти кристалізації води для підігрівання повітря перед тепловим насосом.....	105
2.10. Оптимальна глибина використання нижніх джерел теплоти .....	105
2.10.1. Питомі витрати зовнішньої енергії на теплонасосні системи теплопостачання з використанням різних джерел енергії.....	106
2.10.2. Оптимальний ступінь охолодження теплоносія у випарнику ТН при використанні різних джерел теплоти .....	108
2.11. Системи акумулювання і транспортування теплоти .....	117
2.12. Системи з акумулювання холоду .....	121
2.13. Водольодяні акумулятори холоду .....	131
Контрольні питання.....	133
Література.....	134

### **РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ВСИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ РІЗНИХ ОБ'ЄКТІВ ..... 136**

3.1. Схемні рішення ТНУ .....	136
3.2. Застосування теплових насосів в індивідуальних і багатоквартирних житлових будинках.....	147
3.3. Застосування теплових насосів в критих та відкритих басейнах.....	150
3.3.1. Криті басейни .....	150
3.3.2. Відкриті басейни .....	153
3.4. Застосування теплових насосів в системах теплопостачання громадських приміщень та будівель.....	154
3.4.1. Системи вентиляції.....	155
3.4.2. Системи повітряного опалення .....	159
3.4.3. Системи водяного опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування приміщень .....	164
3.5. Застосування теплових насосів в теплонасосних станціях централізованого теплопостачання .....	166
3.5.1. Теплові насоси з електроприводом компресора.....	169
3.5.2. Теплові насоси з дизельним приводом.....	169
3.5.3. Теплові насоси з приводом компресора від газотурбінної установки та утилізацією теплоти відхідних газів в топках водогрійних котлів .....	171
3.5.4. Вплив схеми включення конденсаторів та випарників теплонасосних установок на ефективність роботи ТНУ у системі ТНС .....	174

Контрольні питання.....	176
Література.....	177

## **РОЗДІЛ 4. ТЕПЛОВІ НАСОСИ В ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ... 179**

4.1. Використання теплових насосів в процесах сушіння.....	179
4.1.1. Сушильні установки як об'єкт застосування теплонасосних систем енергопостачання.....	179
4.1.2. Досвід використання теплових насосів в установках сушіння різних матеріалів і продуктів.....	183
4.1.3. Використання теплових насосів в установках для сушіння зерна .....	197
4.1.4. Теплонасосні установки для низькотемпературного сушіння деревини.....	207
4.2. Використання теплових насосів для охолодження трансформаторів та опалення приміщень електромереж.....	216
4.2.1. Включення первинного контуру теплового насоса попередньо з маслоохолоджувачем системи охолодження автотрансформатора або трансформатора.....	216
4.2.2. Розміщення контуру хладагента теплового насоса безпосередньо в баці автотрансформатора чи трансформатора .....	217
4.2.3. Відбирання теплоти від нагрітого масла з використанням системи масляно-випарного охолодження.....	218
4.2.4. Відбирання теплоти від нагрітого повітря.....	218
4.2.5. Відбирання теплоти за допомогою теплообмінників типу «лист-труба», розташованих на корпусі бака автотрансформатора.....	219
4.3. Тепліші насоси в системах випаровування та дистиляції рідини .....	220
Контрольні питання.....	222
Література.....	223

<b>РОЗДІЛ 5. КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....</b>	<b>231</b>
5.1. Комбіновані геотермальні циркуляційні системи теплопостачання .....	231
5.2. Використання геотермальної енергії закордонний досвід та перспективи в Україні .....	232
5.3 Сучасні технології розробки, облаштування геотермальних родовищ і створення систем геотермального теплопостачання.....	234
5.4. Енергоефективність комбінованих систем геотермального теплопостачання .....	238
5.4.1. Геотермальні системи теплопостачання з піковою котельнею та теплонасосною установкою .....	240
5.4.2. Геотермальні системи з когенераційною та теплонасосною установками .....	242

5.5. Теплові схеми теплопостачання з одно і двоступеневими теплонасосними установками .....	247
5.5.1. Одноступеневі і теплонасосні установки .....	247
5.5.2. Двоступенева і багатоступеневі теплонасосні установки .....	253
5.5.3. Методика аналізу теплових схем ТНУ .....	270
5.6. Високотемпературні теплонасосні установки в системах теплопостачання .....	280
5.6.1. Теплова схема каскадної ТНУ .....	208
5.6.2. Оптимізація термодинамічних параметрів .....	282
Контрольні питання .....	285
Література .....	285

## РОЗДІЛ 6. АВТОНОМНЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАВАННЯ.....286

6.1. Термодинамічний аналіз ефективності і енергетичних станцій .....	286
6.2. Теплофізичні, термодинамічні та екологічні критерії вибору робочої речовини бінарних станцій.....	288
6.3. Термодинамічні параметри бінарної геотермальної енергетичної станції .....	292
6.3.1. Некритичні цикли на хладагачах та їх сумішах .....	292
6.3.2. Надкритичні цикли .....	300
6.4. Каскадна геотермальна енергетична станція .....	302
6.4.1. Раціональні термодинамічні параметри ГеоЕС.....	306
6.4.2. Ексергетичний аналіз ефективності циклів ГеоЕС .....	307
6.5. Схеми гібридних паливно-геотермальних енергетичних станцій .....	311
6.6. Техніко-економічна оптимізація конструктивних і технологічних параметрів гібридної паливно-геотермальної теплової станції (ГПГТС).....	317
6.7. Оптимальні режими роботи ГПГТС.....	321
Контрольні питання .....	330
Література .....	330

## РОЗДІЛ 7. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ БІОГАЗУ ТА ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ БІОКОНВЕРСІЇ.....331

7.1. Напрямки інтенсифікації та термостабілізації технологічного процесу біоконверсії .....	331
7.2. Енергоощадні конструктивно-технологічні схеми біогазових установок .....	341
7.3. Методика розрахунку біореактора .....	350
7.4. Ефективність використання біопалива в системах енергозабезпечення .....	352
7.5. Устаткування для термохімічної утилізації органічних відходів в системах теплопостачання.....	356

Контрольні питання.....	366
Література.....	367

## РОЗДІЛ 8. ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ПРОМИСЛОВИХ

ПІДПРИЄМСТВ .....	369
8.1. Основні напрямки використання низькопотенційних ВЕР .....	369
8.2. Когенераційні та теплоутилізаційні енергетичні установки з виробленням електроенергії .....	381
8.2.1. Когенераційні енергетичні установки .....	381
8.2.2. Теплоутилізаційні енергетичні установки в тепловій схемі котельного агрегату .....	383
8.2.3. Утилізація теплоти відхідних газів газотурбінних установок ГПА магістральних газопроводів .....	390
8.2.4. Когенераційна схема використання ВЕР газопереробного заводу .....	394
8.3. Каскадні енергетичні установки утилізації теплових ВЕР підприємств.....	396
Контрольні питання.....	403
Література.....	404