



С. В. ДУБОВСЬКИЙ

**ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНИЙ
АНАЛІЗ СПОЛУЧЕНИХ
СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ
ЕНЕРГІЇ І ТЕПЛОТИ**

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

С. В. ДУБОВСЬКИЙ

ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНИЙ
АНАЛІЗ
СПОЛУЧЕНИХ
СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
І ТЕПЛОТИ

*ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»*

КИЇВ НАУКОВА ДУМКА 2014

УДК 620.9/621.1

У межах термодинамічного підходу наведено нове вирішення наукової проблеми розподілу витрат енергії між продуктами реальних процесів і циклів тепломеханічного перетворення прямого і зворотного спрямування, на яких базується функціонування сполучених систем генерації електричної і теплової енергії — комбінованого виробництва електричної енергії та теплоти, теплоти і холоду з використанням електричної енергії. Подано теоретичні засади, методи і засоби визначення енергоємності проміжних і кінцевих продуктів комбінованих виробництв практично важливих типів, агреговані моделі та інженерні методики енергоекономічного аналізу і прогнозування їх розвитку як двопродуктової складової електроенергетичного комплексу.

Для науково-інженерних співробітників, аспірантів і студентів, які цікавляться проблемами розроблення, проектування, експлуатації теплоенергетичних об'єктів, прогнозування розвитку та організації функціонування систем енергетики.

Р е ц е н з е н т и :

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор *Б. І. Басок*,
доктор технічних наук *О. А. Шрайбер*

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту загальної енергетики НАН України
(протокол №10 від 12.09.2013 р.)*

***Видання здійснено за державним замовленням
на випуск видавничої продукції***

Науково-видавничий відділ фізико-математичної
та технічної літератури

Редактор *О. А. Микитенко*

ISBN 978-966-00-1447-3

© С. В. Дубовський, 2014
© НВП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ВСТУП	5
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	8
Р О З Д І Л 1. СВІТОВИЙ РОЗВИТОК СПОЛУЧЕНИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ, СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ЇХ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	9
1.1. Основні визначення.....	9
1.2. Стан і тенденції світового розвитку просторово суміщених сполучених систем генерації електричної енергії та теплоти	11
1.2.1. Розвиток комбінованого виробництва в країнах ЄС.....	12
1.2.2. Стан і тенденції розвитку комбінованого виробництва електричної енергії та теплоти в США	18
1.3. Світові тенденції розвитку розосереджених систем сполученої генерації електричної енергії та теплоти	23
1.4. Стан і перспективи розвитку сполучених систем генерації електричної енергії та теплоти в електроенергетиці України	31
1.5. Розвиток теоретичних досліджень сполучених виробництв	36
Р О З Д І Л 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСМНОСТІ СПОЛУЧЕНИХ ПРОЦЕСІВ ГЕНЕРАЦІЇ	42
2.1. Обґрунтування методів досліджень та принципового підходу до оцінок ефективності сполучених систем	42
2.2. Теоретичне узагальнення наявних методів розподілу витрат у комбінованих процесах тепломеханічного перетворення	43
2.3. Закономірності розподілу витрат енергії у прямих бінарних процесах.....	48
2.3.1. Метод заміщення виходу.....	49
2.3.2. Метод еквівалентного подання	51
2.4. Закономірності розподілу витрат енергії у обернених бінарних процесах.....	55
2.5. Феноменологічна декомпозиція бінарних процесів тепломеханічного перетворення	59
2.6. Загальні принципи та закономірності розподілу витрат між продуктами бінарних комбінованих процесів перетворення енергії	64
2.7. Теоретичні порівняння одержаних результатів з відомими методами розподілу витрат енергії між продуктами комбінованих процесів	64

Зміст

Р О З Д І Л 3. НАУКОВІ ЗАСАДИ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ ПАРОТУРБІННИХ ТЕПЛОФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК	68
3.1. Головні особливості розподілу витрат енергії у процесах розширення пари в паровій турбіні.....	68
3.2. Методичні засади розрахунку коефіцієнтів термодинамічної цінності теплоти для паротурбінних установок	78
3.3. Методичні особливості розрахунку складних теплофікаційних паротурбінних установок.....	80
3.4. Диференційний аналіз теплових схем паротурбінних установок з використанням коефіцієнтів термодинамічної цінності теплоти	81
3.4.1. Термоекономічна оптимізація систем ступеневого підігріву	81
3.4.2. Регенеративний ступеневий підігрів	84
3.5. Методика обчислення показників теплової економічності з використанням коефіцієнтів розподілу економії теплоти	86
3.6. Узагальнена модель електричної станції комбінованого виробництва електричної та теплової енергії	91
3.6.1. Методичні засади усереднення коефіцієнтів термодинамічної цінності теплоти	91
3.6.2. Визначення показників теплової економічності нетто	93
3.7. Порівняння термодинамічного методу з іншими методами розподілу витрат на виробництво електричної енергії та теплоти паротурбінними теплофікаційними установками	95
3.7.1. Обґрунтування умов зіставності та якісні порівняння методик.....	95
3.7.2. Кількісні зіставлення методів	98
Р О З Д І Л 4. НАУКОВІ ЗАСАДИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ СПОЛУЧЕНИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ НА БАЗІ ГАЗОВИХ ЦИКЛІВ	103
4.1. Проблеми та задачі удосконалення методології оцінок ефективності теплофікаційних установок малої й середньої потужностей	103
4.2. Особливості термодинамічного підходу до розподілу витрат енергії у теплофікаційних газотурбінних установках	106
4.3. Методологічні засади прикладного аналізу когенераційних установок на базі двигунів внутрішнього згорання.....	112
4.4. Методика та результати прикладного аналізу когенераційних установок простого циклу Брайтона	115
4.5. Методика та результати прикладного аналізу когенераційних установок на базі поршневих двигунів внутрішнього згорання.....	119
4.6. Методика та результати прикладного аналізу когенераційних установок на базі прямого перетворення енергії.....	122
Р О З Д І Л 5. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ СПОЛУЧЕНИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОТИ ЯК СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ КРАЇНИ	125
5.1. Основні завдання енергоекономічного аналізу систем сполученої генерації у задачах оптимізації функціонування та прогнозування розвитку систем енергетики в умовах ринку	125
5.2. Сутність задач енергоекономічного аналізу систем сполученої генерації в умовах ринку	127

Зміст

5.3. Методи оптимізації та прогнозування розвитку структури генерувальних потужностей систем сполученої генерації як функціональної підсистеми електроенергетики в умовах ринку.....	128
5.3.1. Загальна постановка задачі	128
5.3.2. Алгоритми оптимізації.....	129
5.3.3. Енергоекономічні характеристики енергоблоків	135
5.3.4. Енергетичні характеристики теплофікаційних енергоблоків.....	137
5.3.5. Перспективні енергоблоки	139
5.4. Порівняння технологій та установок комбінованого виробництва електричної та теплової енергії за показниками теплової економічності.....	139
5.5. Інвестиційна привабливість когенераційних установок на базі газових циклів	142
5.6. Енергоекономічний аналіз технологій теплопостачання з використанням теплових насосів	146
5.6.1. Енергетична ефективність теплонасосного теплопостачання	146
5.6.2. Техніко-економічні передумови впровадження теплових насосів	147
5.6.3. Перспективи впровадження теплонасосної техніки в Україні	151
5.7. Межі економічної доцільності використання просторово розділених та суміщених сполучених систем генерації електричної енергії та теплоти	153
ДОДАТОК А	157