

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

**ЖИХАРЄВА НАТАЛІЯ ВІТАЛІЇВНА**  
**КОГУТ ВОЛОДИМИР ОМЕЛЯНОВИЧ**

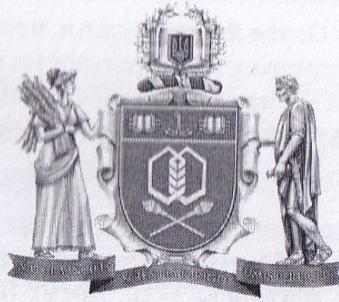
**МОДЕЛЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ**  
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Одеса 2025

697/07

\* 75

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**КАФЕДРА ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

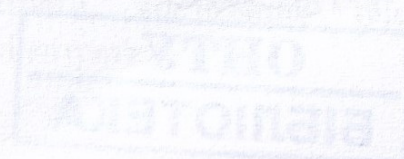


**ЖИХАРЄВА НАТАЛІЯ ВІТАЛІЇВНА**  
**КОГУТ ВОЛОДИМИР ОМЕЛЯНОВИЧ**

**МОДЕЛЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ**

Навчальний посібник

Одеса  
2025



УДК 697.94;621.565

М 74

*Рекомендовано Вченою радою Одеського національного технологічного університету Протокол № 9 від 11.02.2025 р.*

Рецензенти: **ТІТЛОВ Олександр Сергійович** – д.т.н. професор, завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики Одеського національного технологічного університету.  
**ХЛІЄВА Ольга Яківна**, – д.т.н. професор кафедри суднових допоміжних установок і холодильної техніки національного університету «Одеська морська Академія» МОН України.  
**БОРЕЦЬКИЙ Олександр Ігорович**, – директор ФОП «ЛІКОНД» (м. Одеса). 8 від 18 лютого 2013 р.

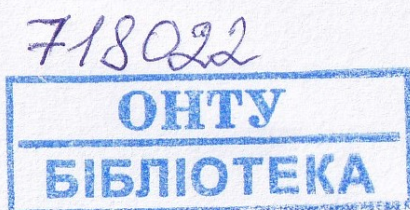
**М 74 Моделювання інноваційних технологій енергомашинобудування.** Навчальний посібник. / Жихарева Н.В., Когут В.О.; – Одеса: Бондаренко М. О., 2025. – 198 с.

ISBN 978-617-8511-38-8

Навчальний посібник «Моделювання інноваційних технологій енергомашинобудування». присвячена моделюванню технологій енергомашинобудування та підвищення їх ефективності систем з використанням інноваційних технологій – контактних теплообмінних апаратів для очищення, нагріву, охолодження та підтримки відносної вологості. Показано моделювання параметрів кондиціонування повітря, розрахунок економічно-доцільної товщини ізоляції; розрахунок тепло-вологісного навантаження, підбір обладнання системи кондиціонування, моделювання повітророзподілення. Розглянуто моделювання навантаження холодильної установки в нестаціонарних умовах, та встановлений взаємозв'язок їх ланок у процесі, для забезпечення оптимальних параметрів в приміщеннях з проведенням термoeкономічного аналізу з урахуванням виведених технологічних та економічних критеріїв оптимальності.

**УДК 697.94;621.565**

ISBN 978-617-8511-38-8



© Жихарева Наталія Віталіївна;  
© Когут Володимир Омелянович;  
© Одеський національний технологічний університет.

## АНОТАЦІЯ

Навчальний посібник «Моделювання інноваційних технології енергомашинобудування» присвячено підвищенню ефективності систем енергомашинобудування. Для цього розглядається оптимізація процесів та апаратів систем з вирішенням задач енергозбереження.

Навчальний посібник із восьми розділів, в яких наведено моделювання та оптимізація інноваційних технологій енергомашинобудування, моделювання та оптимізація апаратів кондиціонування повітря, термoeкономічного аналізу холодильної установки, Приведена методика розрахунків телового навантаження приміщень.

Розвиток енергомашинобудування характеризується масштабністю упровадження, системною та більш детальною розробкою проєктів та конструкцій на підставі наукових та інженерних знань, які кількісно та якісно збільшуються. Сучасні середовища автоматизації та обчислювальної техніки в стані забезпечити любий рівень автоматизації енергетичних систем.

Науковою підставою для рішення питань з оптимізації є перспективні технологічні схеми, прикладне програмне забезпечення. При такому підході вирішується комплексна задача оптимізації системи кондиціонування повітря та холодильного обладнання.

Вирішена триєдина проблема – економіка+екологія+енергетика.

Розглянуті методи та технічні рішення з підвищення ефективності функціонування та впроваджено з використанням контактних теплообмінників ежекторного типу для нагрівання, охолодження і підтримання відносної вологості.

Вирішено очищення та фільтрацію повітря за допомогою контактного теплообміну у спеціальному блоці центрального кондиціонера, що дозволило збільшити енергоефективність.

Приведена термoeкономічна модель оптимізації режимів роботи холодильної установки з урахуванням особливостей контактних теплообмінників ежекторного типу, вибраних з урахуванням виведених технологічних та економічних критеріїв оптимальності.

Показани принципи моделювання за допомогою середовища Labster.

**Ключові слова:** енергомашинобудування, кондиціонування повітря, холодильна установка, термoeкономічний аналіз, навантаження, тепло, холод, вологість, повітророзподілення, енерговитрати, контактний теплообмін, ежекція, ефективність експлуатації, приведені витрати.

## ABSTRACT

The initial reference book "Modeling of innovative power machine technologies" is dedicated to improving the efficiency of air conditioning systems. For this purpose we consider the optimization of processes and devices of air conditioning systems in line with the most important tasks of energy saving.

The main source of six sections, which includes modeling and optimization of innovative energy-machine technologies, modeling and optimization of air conditioning equipment, thermoeconomical analysis of cold For a simple installation, a method for re-distributing wind pipes and sound attenuation is presented.

The development of power engineering is characterized by the scale of improvement, systematic and more detailed development of projects and design on the basis of scientific and engineering knowledge, which is clearly and clearly increasing. The current means of automation and computing technology in the plant will ensure any level of automation of energy systems.

A scientific basis for the solution of nutrition with optimization, promising technological schemes, and applied safety programs. With this approach, there is a complex task of optimizing the air conditioning and refrigeration systems.

. There is a triune problem - economy + ecology + energy.

The developed methods and technical solutions have increased the efficiency of the functionality and are supported by the use of vector-type contact heat exchangers for heating, cooling and aqueous moisture removal.

The purification and filtration of air through additional contact heat exchange in a special central air conditioner unit is ideal, which allows for increased energy efficiency.

A thermoeconomic model is presented for optimizing the operating modes of a refrigeration unit with the characteristics of contact heat exchangers of the projector type, selected in accordance with the technological and economic criteria of optimality.

**Keywords:** power machinery, air conditioning, refrigeration unit, thermoeconomic analysis, ventilation, heat, cold, humidity, wind distribution, energy consumption, contact heat exchange, output, operational efficiency, data vitrati..

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$G$  – масова витрата повітря, кг/с;

$g$  – питома масова витрата, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$p$  – парціальний тиск водяної пари, Па;

$p^*$  – тиск насиченої пари, Па;

$P_b$  – барометричний тиск, Па;

$H$  – аеродинамічний опір, Па;

$V$  – швидкість повітря, м/с;

$Q$  – виділення теплоти, Вт;

$R$  – термічний опір, м<sup>2</sup> К/Вт;

$A$  – амплітуда температурної хвилі, м;

$D$  – теплова інерція шару огороджуючої конструкції;

$F$  – площа поверхні, м<sup>2</sup>;

$W$  – кількість вологи, що випарюється, кг;

$d$  – вологовміст повітря, кг/кг<sub>с.п.</sub>;

$h$  – питома ентальпія повітря, кДж/кг;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

Решта позначень приведена у тексті.

## ЗМІСТ

	стор
<b>ПЕРЕДМОВА</b>	9
	11
<b>РОЗДІЛ 1</b>	
<b>ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ</b>	
1.1 Принципи системного аналізу технічних систем	12
1.2 Комплексна модель оптимізації технічних систем	15
1.3. Оптимальне проектування системи	19
	29
<b>РОЗДІЛ 2.</b>	
<b>МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТІВ</b>	
2.1. Фізико-математичний опис задачі тепло- і масопереносу в робочих середовищах установок систем енергомашинобудування	29
2.2. Види моделей тепло- та масопередачі в установках	33
2.3. Особливості тепло і масопередачі між робочими середовищами апаратів	35
2.4. Рівняння граничних рівноважних станів робітничих середовищ при моделюванні тепло - і масообмінних апаратів	36
2.5. Безрозмірні параметри при моделюванні тепло - і масопередачі в апаратах	39
2.6. Моделювання тепло - і масопередачі в апаратах при сталому режимі	44
	53
<b>РОЗДІЛ 3</b>	
<b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ</b>	
3.1 Основні закономірності процесів тепло- і масообміну у штабелі продукції при активному вентиляванні	53
3.2. Визначення оптимальних параметрів зберігання плодовоовочевої продукції	58

<b>РОЗДІЛ 4</b>		<b>67</b>
<b>МАТЕМАТИЧНА</b>	<b>МОДЕЛЬ</b>	<b>КОМПЛЕКСНОГО</b>
<b>ТЕПЛОВОЛОГІСНОГО</b>	<b>РОЗРАХУНКУ</b>	<b>ТЕХНОЛОГІЧНОГО</b>
<b>КОНДИЦІОНУВАННЯ</b>		
4.1. Визначення економічно доцільної товщини шару теплоізоляції огорожень холодильного модуля		67
4.2. Використання теплозахисної оболонки для підтримання оптимального мікроклімату		73
4.3. Визначення теплоприпливів через огороження холодильного модуля		77
4.4. Теплостійкість огорожуючих конструкцій холодильного модуля		81
4.5. Інженерний метод розрахунку теплостійкості		90
<b>РОЗДІЛ 5</b>		<b>93</b>
<b>ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ</b>		
5.1. Шляхи підвищення енергоефективності багатозональних систем кондиціювання повітря		93
5.2. Цільова функція оптимізації сумарної вартості теплового захисту приміщень та кліматичного обладнання		99
5.3. Методика оцінки технічних рішень, прийнятих на етапі проектування		102
5.4. Енергозбереження при експлуатації повітророзподілення систем кондиціювання повітря		112
<b>РОЗДІЛ 6</b>		<b>115</b>
<b>ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ</b>		
<b>КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ</b>		
<b>УМОВАХ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНТАКТНИХ</b>		
<b>ТЕПЛООБМІННИКІВ</b>		
6.1. Спосіб та установка додаткового нагрівання повітря		116
6.2. Спосіб та установка додаткового охолодження повітря		123
6.3. Використання водяної шуги в системах кондиціювання повітря		135
6.4. Спосіб очистки повітря		145
<b>РОЗДІЛ 7.</b>		
<b>ТЕРМОЕКОНОМІЧНА МОДЕЛЬ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ</b>		<b>148</b>
7.1 Оптимізація режиму роботи холодильної установки		149
7.2. Математичні аспекти термoeкономічного аналізу		155

<b>РОЗДІЛ 8</b>	<b>158</b>
<b>МЕТОДИКА ТЕПЛО-ВОЛОГІСНОГО РОЗРАХУНКУ ПРИМІЩЕНЬ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ ТЕПЛООБМІНІ</b>	
8.1. Моделювання нестационарного теплообміну приміщень	158
8.2 Моделюванні погодинного добового теплового балансу приміщення	172
<b>ПІСЛЯМОВА</b>	<b>178</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>181</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>191</b>