



Textbook for the Master Programme
"INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR
ENERGY SAVING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION"

Edited by L.A. Tagliafico

Basis of Thermodynamics and Exergy Analysis

Основы термодинамики и эксергетический анализ

Под редакцией Л.А. Тальяфико

Учебное пособие для магистерской программы
"ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ"



Project
TEMPUS
"LLL Training and Master in
Innovative Technologies for
Energy Saving and
Environmental Control
for Russian Universities,
Involving Stakeholders
GREEN MASTER"



Проект
ТЕМПУС
"Обучение
в течение всей жизни и
магистратура в области
инновационных технологий
в сфере энергосбережения и
экологического контроля в
российских университетах с
участием работодателей
GREEN MASTER"

Book Series GREEN Master Project
Tempus 530620-TEMPUS-1-2012-1-IT-TEMPUS-JPCR

Chief editors:

Prof. Vincenzo Bianco (University of Genoa),
Prof. Nikolay Popov (Tambov State Technical University),
Prof. Alexander Noskov (Ural Federal University),
Prof. Nikolay Kornilov (Stavropol State Agricultural University).

	Book Title	Book Editor
1	Green technologies for sustainable development	Prof. Natalia Tarasova
2	Energy efficiency improvement in natural and industrial systems	Prof. Nikolay Popov
3	Basis of thermodynamics and ex-ergy analysis	Prof. Luca Tagliafico
4	Lifecycle of energy, energy management and optimum decision making	Prof. Vladimir Alekhin
5	Energy and environmental audit	Prof. Nikolay Popov
6	Engineering and economic analysis of energy saving activities	Prof. Sergey Fedosov
7	Environmental safety and energy sustainable development	Prof. Nikolay Kornilov
8	Practical application of energy saving technologies	Prof. Viktor Semenov
9	Modelling technological and natural systems	Prof. Yury Panov
10	Glossary for GREENMA project	Angelo Musaiò Lilia Mozerova

Проект
ТЕМПУС 530620–TEMPUS–1–2012–1–IT–TEMPUS–JPCR
«Обучение в течение всей жизни и магистратура в области инновационных технологий в сфере энергосбережения и экологического контроля в российских университетах с участием работодателей «GREENMA»

Редакционный совет серии учебных пособий проекта «GREENMA»:

профессор В. Бьянко, Университет г. Генуи, Италия;

профессор Н. Корнилов, Ставропольский государственный аграрный университет;

профессор А. Носков, Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина;

профессор Н. Попов Тамбовский государственный технический университет

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области химической технологии и биотехнологии для студентов, обучающихся по направлению 241000 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (квалификация/степень-магистр)

Тамбов
Издательство Першина Р.В.
2014

УДК 536.7 (075.8)
ББК з311я73
Ф94

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **А.С. Носков**, ФГБОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»;
доктор технических наук, профессор **Ю.Т. Панов**, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет».

Авторы:

Л. Таглияфико, Ф. Скарпа, А. Марчитто, Н.С. Попов.

Ответственный редактор: профессор Л. Таглияфико.

Ф94 **Фундаментальные основы термодинамики и эксергетический анализ:** учебное пособие [Текст] / Л. Таглияфико, Ф. Скарпа, А. Марчитто и др.; под общ. ред. Л. Таглияфико и Н.С. Попова. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2014. – 143 с.

В учебном пособии, подготовленном совместно преподавателями Университета г. Генуи, Италия, и Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ), рассматриваются фундаментальные подходы к обеспечению энергоэффективности сложных производственных систем. Они базируются на использовании законов термодинамики, балансовых уравнений теплопереноса, эксергии, принципов работы энергогенерирующих установок, моделей механики жидкостей, конверсии энергии и др.

Части 1 – 3 написаны профессором Л. Таглияфико (Университет г. Генуи), часть 4 – профессорами Ф. Скарпа (Университет г. Генуи) и Н.С. Поповым (ТГТУ), часть 5 – профессором А. Марчитто (Университет г. Генуи).

Учебное пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлениям 280700 – Техносферная безопасность и 241000 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, и может быть полезно студентам всех специальностей, изучающих дисциплины, связанные с энергосбережением, рациональным использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды.

© Коллектив авторов, 2014

© Кобзева С.В., дизайн обложки, 2014

© Изд-во Першина Р.В., оформление, 2014

ISBN 978-5-91253-555-0

CONTENT

Foreword	7
Вступительное слово	9
Preface	12
Symbols	13
1. The International System of Units	15
1.1. Fundamental quantities and derived quantities.....	15
1.2. Theory of Measurements	18
1.3. Technical Thermodynamics.....	21
1.4. Some properties of thermodynamic systems – Pres- sure and temperature	24
2. Balance equations and Principles (laws) of conservation	36
2.1. Balance Equations.....	36
2.2. Heat exchanges	40
2.3. The First Law of Thermodynamics.....	45
2.4. First law of thermodynamics (generalized)	51
3. Fluid Properties	55
3.1. Thermodynamically simple system (fluids).....	55
3.2. Two phases systems	61
3.3. The second law of thermodynamics	66
4. Power Processes	74
4.1. Energy conversion processes	74
4.2. Thermo-fluid systems; general features.....	77
4.3. Power thermo-fluid systems	80
4.4. The direct steam power cycle	82

4.5.	The Rankine Cycle.....	86
4.6.	Gas thermo-fluid systems	94
4.7.	Internal combustion engines	100
5.	Exergetic Analysis	107
5.1.	Introduction.....	107
5.2.	The external system reference	109
5.3.	Thermo-mechanical exergy of a closed system.....	110
5.4.	Exergetic balance of a closed system.....	112
5.5.	Features of thermal – mechanical exergy	114
5.6.	Exergy flow.....	115
5.7.	Control Volume Exergy Balance	117
5.8.	Second law efficiency	119
5.9.	Exergy efficiency for plant devices	121
6.	Concepts of Fluid Dynamics	125
6.1.	Basic definitions	125
6.2.	Mass and volume flow rates	127
6.3.	Conservation of mass principle.....	128
6.4.	Energy conservation	129
6.5.	Bernoulli equation.....	131
6.6.	Friction and Darcy Equation.....	134
6.7.	Laminar and turbulent flow	136
6.8.	Friction losses	138
References.	142