

В. Г. Лисиенко

**СОБЕРШЕНСТВОВАНИЕ
И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВ**

**Интегрированный
энерго-экологический анализ:
теория и практика**

Том 1

«Теплотехник»

В.Г. Лисиенко

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВ
(ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)**

Т О М I



«Теплотехник»
Москва, 2010

УДК 662.9(083)
Л63

Лисиенко В.Г.

Совершенствование и повышение эффективности энерготехнологий и производств (интегрированный энерго-экологический анализ: теория и практика): В 2 томах. Том 1. — М.: Теплотехник, 2010. — 688 с.

Монография связана с современными, весьма актуальными проблемами совершенствования и повышения эффективности энерготехнологий и производств. На современном уровне эти проблемы подкрепляются развитием теоретических представлений и методов математического моделирования. В томе 1 на фоне совершенствования теоретических основ энерготехнологий XX века рассмотрены основные положения интегрированного энерго-экологического анализа, как современного инструмента предпроектных исследований технологий и процессов и оценки их энерго-экологоэффективности. Приведены методики сквозного энергетического и энерго-экологического анализа, рассмотрена теория тепломассообменных эффективностей, представлено развитие теории факельных процессов и отражены современные методы математического моделирования. Представлена методология энерготехнологической электромагнитной совместимости. В рамках обобщенного термодинамического подхода рассмотрена модель производственного процесса. Приведены данные о детерминированном адаптивном регуляторе. Во 2-м томе монографии будут рассматриваться примеры совершенствования и повышения эффективности тепловых процессов в плавильных нагревательных и термических печах и энергетических установках с использованием представленных теоретических положений. Все материалы монографии являются оригинальными, в большей части в авторской разработке.

Монография предназначена для проектных, исследовательских организаций и предприятий в области энерготехнологий. Полезна студентам и аспирантам вузов.

Ил. 200. Табл. 45. Библиогр. список: 241 назв.

Работа представлена в авторской редакции.

ISBN 5-98457-071-8

© Лисиенко В.Г., 2010 г.
© «Теплотехник», 2010 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	11
Введение	14
V1. Проблемы энергоэффективности	14
V2. Основные особенности становления и развития интегрированной теории энерго-экологоэффективности	18

Том 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГО-ЭКОЛОГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Глава 1. Развитие теории энергоэффективных технологий	26
1.1. Гидравлическая теория печей	27
1.2. Энергетическая теория печей	28
1.3. Развитие общей теории печей	30
1.4. Теория радиационного и сложного теплообмена	31
1.5. Теория факельных процессов	32
1.6. Теория тепловой работы слоевых агрегатов	34
1.7. Теория интегрированной энерго-экологоэффективности, интегрированный энергетический и энерго-экологический анализ	36
1.8. Общие подходы и основные особенности теории интегрированной энерго-экологической эффективности интегрированного энерго-экологического анализа	42
Глава 2. Полные (сквозные) энергоемкость и экологический ущерб — ТТЧ и ТЭЧ. Структурированная и диссипативная формы	53
2.1. Энергоемкость продукции и ТТЧ	53
2.2. Структурированная форма ТТЧ	55
2.3. Особенности анализа энергопотребления при помощи технологических топливных чисел (ТТЧ)	59
2.4. Диссипативная форма ТТЧ	61
2.5. Основные факторы энергоемкости	71
2.6. Динамическая энергоемкость продукции предприятий и валового внутреннего продукта	76
2.7. Методика сквозного экологического и энерго-экологического анализа	83
2.7.1. Основные особенности энерго-экологического анализа	84
2.7.2. Структурированная методика экологического анализа	89
2.7.3. Диссипативная методика экологического анализа	93
2.7.4. Алгоритм и программное обеспечение сквозного энерго-экологического анализа	96
2.8. Оценка топливно-ценовых эквивалентов при энерго-экологическом анализе	99
2.9. Методика экологического риска при оценке эколого-экономического ущерба (медико-инженерный подход)	108

2.9.1. Сопоставление типовых методик и методики оценки риска	109
2.9.2. Медико-инженерная методика оценки риска	114
2.9.3. Алгоритм оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды с учетом риска для здоровья населения	116
2.9.4. Программный модуль сравнительной оценки экономического ущерба от загрязнений окружающей среды с учетом риска для здоровья населения	119
Глава 3. Теория тепломассообменных эффективностей (КПД) процессов.	
Основные показатели эффективностей	122
3.1. Тепловой, итоговый физико-химический массообменный и обобщенный химико-тепловой КПД (внешняя компонента)	122
3.2. Внутренние компоненты эффективностей: теплообменный и физико-химический (массообменный) КПД	137
3.3. Характерные тепломассообменные особенности плавильных агрегатов	155
Глава 4. Теория тепломассообменных эффективностей. Режим и эффекты тепломассообменного управления (автогенерации эффективностей)	
4.1. Основные положения режимов тепломассообменного управления	162
4.2. Э-И-характеристики и режим ТМОУ при теплообмене излучением (при плавлении — фазовых переходах)	168
4.3. Пример анализа технологических процессов в рамках теории теплообменной эффективности	180
4.4. Особенности режима ТМОУ при синхронной (печь – теплообменный аппарат) интенсификации теплообмена	185
4.5. Пример расчетов КПД для нагревательной печи	196
4.6. Определение и сравнительный анализ Э-И-характеристик плавильных агрегатов	202
4.7. Новая интерпретация теории теплообмена в конвективных противоточных печах	207
Глава 5. Теория тепломассообменных эффективностей. Фундаментальная постановка задачи оптимизации. Сводные показатели и иерархия эффективностей	
5.1. Фундаментальная постановка задачи оптимизации эффективности в триадном критерии: «энергия, экология, капитальные затраты»	211
5.2. Анализ оптимального управления	221
5.3. Примеры расчетов технологических весовых коэффициентов и оптимального КПД	227
5.4. Задача управления и оптимизации в системе «печь – теплообменный аппарат»	233
5.5. Обобщенные таблицы эффективностей и блок-схема структуры определения тепломассообменных эффективностей	237

Глава 6. Развитие теории факельных процессов	241
6.1. Роль факельных процессов	241
6.2. Основные характеристики факела	246
6.3. Устойчивость процессов горения и характеристики безопасности	247
6.4. Границы, зоны и длины факела	251
6.4.1. Газовые факелы. Общие положения	251
6.4.2. Теоретические исследования аэродинамики подсоса и перемешивания для неравноплотностных струй	262
6.4.3. Влияние подъемных (архимедовых) сил на развитие факела	271
6.4.4. Влияние на развитие факела облегающего потока окислителя на примере струи, образованной концентрическими потоками газа и воздуха	276
6.4.5. Динамика степени выгорания топлива и стесненность развития факела	280
6.5. Экспериментальные исследования горящих факелов — связь теоретических и экспериментальных данных	284
6.5.1. Полная длина факела, зона стехиометрических концентраций и зона интенсивного горения	284
6.5.2. Неравноплотность струи и выявление причин водородной аномалии ..	290
6.5.3. Экспериментальное исследование факела природного газа	294
6.5.4. Обработка экспериментальных данных по длине свободных турбулентных газовых факелов с использованием закономерностей аэродинамики неравноплотностных струй	306
6.5.5. Факел коксового газа с облегающим воздушным потоком	310
6.5.6. Исследование структуры горячих факелов	311
6.6. Особенности мазутного факела	316
6.7. Примеры расчетов параметров и длин факелов и практические рекомендации ..	324
6.8. Радиационные характеристики факела	335
6.8.1. Газообразные продукты сгорания	335
6.8.2. Сажистые частицы пламени	344
6.8.3. Особенности излучения жидких топлив	360
6.8.4. Пылевые частицы	363
6.8.5. Упрощенная модель спектра излучения для газов и сажистых частиц ..	366
6.9. Положение факела относительно тепловоспринимающей поверхности и футеровки	372
6.10. Скоростные и другие аэродинамические характеристики факела	376
6.11. Акустические характеристики факела — акустическая диагностика сверхзвуковых струй и факелов	379
6.12. Экологические характеристики факела	384
6.13. Окислительная способность и восстановительный потенциал	386
 Глава 7. Тепломассообменный анализ — математическое моделирование, современные подходы	 389
7.1. Характеристика макрозоны технологических процессов 390 на примере металлургии	390
7.2. Классификация математических моделей по сложности	392

7.3. Особенности представления математической модели энерготехнологических процессов	394
7.4. Базовые уравнения и модельные представления	398
7.4.1. Уравнение распространения теплоты в движущейся вещественной среде ..	398
7.4.2. Уравнение неразрывности потока жидкости и уравнение движения	401
7.4.3. Уравнение осредненного турбулентного потока	403
7.4.4. Уравнение переноса энергии и обобщенное уравнение переноса	406
7.5. Форма записи системы зональных уравнений. Угловые коэффициенты излучения	408
7.6. Угловые коэффициенты излучения и коэффициенты радиационного обмена	413
7.6.1. Универсальная формула для угловых коэффициентов излучения	413
7.6.2. Универсальная формула для коэффициентов радиационного обмена ...	414
7.6.3. Определение разрешающих и обобщенных угловых коэффициентов излучения	414
7.7. Двухступенчатый метод расчета разрешающих угловых коэффициентов излучения	416
7.8. Учет селективности излучения участвующих в теплообмене сред	418
7.8.1. Краткий обзор методов учета селективности спектра излучения	418
7.8.2. Узкополосная модель спектра поглощения в полосе 4,3 мкм углекислого газа	422
7.8.3. Учет селективности излучения участвующих в теплообмене сред в зональных расчетах	429
7.9. Локальные характеристики теплообмена	443
7.10. Метод Монте-Карло для расчета обобщенных угловых коэффициентов излучения	445
7.10.1. Метод Монте-Карло в проблемах теплообмена излучением	445
7.10.2. Основные особенности использования метода Монте-Карло в задачах теплообмена излучением	448
7.10.3. Обоснование метода аналитического осреднения	451
7.10.4. Системы со сложной геометрией	454
7.10.5. Узловой метод расчета	458
7.10.6. Учет рассеяния и поглощения излучения	461
7.11. Постановка и развитие методов решения сопряженной задачи динамического радиационно-кондуктивного теплообмена в рамках многозональных и узловых методов	464
7.11.1. Учет нагрева массивного металла в зональных и узловых моделях (первые постановки)	464
7.11.2. Алгоритм и численные методы решения детализированных зонально-сопряженных задач теплообмена	472
7.11.3. Расчет температурных полей в изделиях сложной формы	479
7.11.4. Расширение метода зон регулярного режима для расчетов нагрева массивных тел	480
7.11.5. Использование метода суперэлементов для задач теплопроводности ...	485
7.12. Задача радиационно-кондуктивного теплообмена (полупрозрачные среды) ..	486
7.13. Теплообмен в слоистых структурах	492

7.13.1. Слой стержней	493
7.13.2. Слоистый материал	499
7.13.3. Эффективная теплопроводность кирпичной насадки (садки)	508
7.14. Динамический зонально-узловой метод (двухсеточный метод)	512
7.14.1. Двумерная задача теплообмена внутри газовой радиационной трубы для термических печей	513
7.14.2. Двухсеточный динамический зонально-узловой (ДЗУ) метод	521
7.15. Совместное решение тепломассообменной задачи и экологической задачи на примере эмиссии оксидов азота	543
7.16. Список литературы к главам 1–7	551

Глава 8. Методология энерготехнологической и физической электромагнитной волновой совместимости	560
8.1. Методология энерготехнологической электромагнитной совместимости	561
8.2. Волновое управление для жидкости с вращательной вязкостью — пример физической волновой совместимости	591
8.3. Список литературы к главе 8	602

Глава 9. Уровни автоматизированного управления и теория детерминированного регулятора	606
9.1. Уровни автоматизированного управления	606
9.2. Статистические методы адаптации регулятора	607
9.3. Теория детерминированного адаптивного регулятора и роль математических моделей	608
9.4. Устройство для реализации способа	612
9.5. Примеры конкретного выполнения и расчета	613
9.6. Список литературы к главе 9	618

Глава 10. Математическое моделирование, потенциал и теория эффективности производственной деятельности. Закон интeроптимальности проблемы	619
10.1. Общие подходы к постановке модели производственной деятельности	619
10.2. Обоснование модельных представлений на базе обобщенного балансово-переносного подхода и определяющей роли	623
10.2.1. Обоснование потенциала и мотивационных факторов производственной деятельности	624
10.2.2. Эффективная величина потенциала	627
10.3. Переносная (обменная) математическая модель производственной деятельности, ее дифференциальное и интегральное представление	630
10.4. Эффективность производственной деятельности, критериальное уравнение ...	635
10.5. Определяющие и определяемые параметры производственной деятельности, соотношение потенциала производственной деятельности и напряженности труда	638
10.6. Представления об эффективности и интенсивности производственной деятельности, основные закономерности противозатратной, сбалансированной экономики	642

10.6.1. Соотношение форсирования, эффективности и затратности	642
10.6.2. Показатель интенсивности производственной деятельности, определение интенсивного и экстенсивного роста эффективности производства	645
10.6.3. Инфляционные критерии и эффективность	648
10.6.4. Критерии расширенного воспроизводства и эффективность	650
10.6.5. Критерии благосостояния и эффективность	653
10.7. Модели управления в категориях эффективности	655
10.8. Анализ влияния основных факторов на эффективность производственной деятельности. Закон интероптимальной прибыли	658
10.8.1. Модель эффективности производственной деятельности как модель управления	659
10.8.2. Экстремальный характер изменения напряженности производственной деятельности, эффективности и относительной полезной продукции в функции доли живого труда в себестоимости продукции	659
10.8.3. Экстремальный характер зависимости относительной полезной продукции в функции прибыли. Закон интероптимальности прибыли .	666
10.9. Роль потенциала и развитие обменной детерминированной модели производственной деятельности	671
10.10. Список литературы к главе 10	673
Заключение	677