

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«Харьковский политехнический институт»

**ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ**

Учебное пособие

В трёх частях

Часть 1

Под редакцией

*Заслуженного работника образования Украины, проф. Б.А. Левченко,
Заслуженного деятеля науки и техники Украины, проф. Л. Л. Товажнянского*

Х а р ь к о в
НТУ «ХПИ»
2 0 1 2

УДК 66.04.045
ББК 31.31-Я73
Т34

Р е ц е н з е н т ы :

- С. А. Ерощенко*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплотехники и тепловых двигателей Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта;
- В. Е. Ведь*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой интегрированных технологий, процессов и аппаратов. Национального технического университета «ХПИ»

К о л л е к т и в а в т о р о в :

Б. А. Левченко, Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Р. Г. Акмен, Э. Г. Братута, Б. И. Волков, В. Н. Воробьев, А. Н. Ганжа, В. Я. Горбатенко, Ю. Б. Данилов, О. Т. Ильченко, Г. Е. Каневец, П. А. Капустенко, В. М. Кошельник, О. В. Круглякова, В. Г. Павловский, А. Р. Переселков, Т. Ф. Родионова, В. В. Рухлинский, Н. А. Тарасенко, С. С. Титарь, Л. М. Ульев., А. А. Шевелев, Ю. В. Шульгин

Рекомендовано Ученым советом НТУ «ХПИ» (протокол № 10 от 26.11.2010 г.)
Утверждено редакционно-издательским советом университета (протокол № 1 от 24.06.2010 г.)

Навчальний посібник складається з трьох частин нерозривно пов'язаних між собою. У першій частині викладено дані про розвиток паливно-енергетичного комплексу України, про запаси і споживання енергетичних ресурсів, висвітлено основи енергетичної стратегії України і Росії. Подано загальні принципи конструювання, аналізу та методи інженерних розрахунків. Додатки містять необхідні довідкові дані, загальні види і вузли апаратури.

Призначено для студентів і аспірантів, що навчаються за фахом «Теплоенергетика», та спеціальностей енергетичного, хімічного і металургійного профілю.

Теплотехнологические установки, системы, оборудование : учеб.
Т34 пособие : в 3 ч. - Ч. 1 / под ред. Б. О. Левченко, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. - Х. :
НТУ «ХПИ», 2012. - 752 с. - На рус. яз.

ISBN 978-617-05-0039-7 (полное изд.)

ISBN 978-617-05-0040-3 (ч. 1)

Учебное пособие состоит из трех частей, неразрывно связанных между собой. В первой части изложены данные о развитии топливно-энергетического комплекса Украины, о запасах и потреблении энергетических ресурсов, освещены основы энергетической стратегии Украины и России. Представленные общие принципы конструирования, анализа и методы инженерных расчетов теплоиспользующего оборудования. Приложения содержат необходимые справочные данные, общие виды и узлы аппаратуры.

Предназначено для студентов и аспирантов, обучающихся по специальности «Теплоэнергетика», и специальностей энергетического, химического и металлургического профиля.

Ил. 207. Табл. 122. Библиогр.: 103 назв.

УДК 66.04.045

ББК 31.31-я73

ISBN 978-617-05-0039-7 (полное изд.)

ISBN 978-617-05-0040-3 (ч.

1)

© Коллектив авторов, 2012

СОДЕРЖАНИЕ ЧАСТЕЙ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ «ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ, ОБОРУДОВАНИЕ»

Часть первая

РАЗДЕЛ 1. Энергетика на рубеже третьего тысячелетия

РАЗДЕЛ 2. Проектирование и самостоятельная работа студентов.

Общие сведения

РАЗДЕЛ 3. Общие принципы конструирования, анализа и расчетов процессов и аппаратов

РАЗДЕЛ 4. Нагрев, системы охлаждения и конденсации

РАЗДЕЛ 5. Тепло - и массообменные аппараты и установки

Часть вторая

РАЗДЕЛ 6. Современные технологии генерации энергии

РАЗДЕЛ 7. Транспортирование энергоносителей.

РАЗДЕЛ 8. Высокотемпературные теплотехнологические установки

РАЗДЕЛ 9. Парогенерирующие системы и установки

РАЗДЕЛ 10. Системы теплоснабжения

РАЗДЕЛ 11. Выпарные установки

РАЗДЕЛ 12. Искусственное охлаждение. Трансформаторы тепла

Часть третья

РАЗДЕЛ 13. Энерготехнологическое комбинирование и использование вторичных и возобновляемых энергетических ресурсов

РАЗДЕЛ 14. Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства

РАЗДЕЛ 15. Сушка материалов

РАЗДЕЛ 16. Вспомогательное и комплектующее оборудование теплоиспользующих установок

РАЗДЕЛ 17. Системы автоматического проектирования теплоэнергетического оборудования

РАЗДЕЛ 18. Расчет и основные схемы автоматического регулирования теплотехнического оборудования

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	7
РАЗДЕЛ 1. ЭНЕРГЕТИКА НА РУБЕЖЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ.....	7
1.1. Ресурсы минерального топлива.....	7
1.2. Потребление энергетических ресурсов в мире.....	13
1.3. Рост численности населения Земли.....	16
1.4. Топливо-энергетический комплекс Украины.....	19
1.5. Кризис. Основные показатели работы ТЭК Украины за 2009 год.....	34
1.6. Энергетическая стратегия Украины до 2030 года.....	43
1.7. Долговременный прогноз развития энергетики.....	53
1.8. Международная премия «Глобальная энергия».....	56
<i>Список литературы.....</i>	<i>59</i>
<i>Интернет-адреса в области энергетики.....</i>	<i>59</i>
РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	
 СТУДЕНТОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	61
2.1. Математическое моделирование.....	61
2.2. Методы оптимизации теплоиспользующих установок и аппаратов.....	68
2.2.1. Критерии эффективности оборудования и установок.....	69
2.2.2. Методы поиска экстремума критериев эффективности установок.....	72
2.3. Методы планирования эксперимента.....	79
2.3.1. Полный факторный эксперимент.....	80
2.3.2. Дробный факторный эксперимент.....	83
2.3.3. Планы второго порядка.....	87
2.4. Статистический анализ значимости коэффициентов уравнения и его адекватности.....	92
2.5. Материалы, применяемые в промышленности и энергетике.....	94
2.5.1. Конструкционные материалы на металлической основе.....	95
2.5.2. Пластические массы.....	100
2.5.3. Огнеупоры, неметаллические материалы.....	103
2.5.4. Редкие металлы и легкоплавкие сплавы.....	106
<i>Приложения.....</i>	<i>111</i>
<i>Список литературы.....</i>	<i>138</i>

РАЗДЕЛ 3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ, АНАЛИЗА И РАСЧЕТОВ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ	139
3.1. Классификация расчетов аппаратов и установок	139
3.2. Оценка совершенства теплотехнологических систем	145
3.2.1. Основы эксергетического метода анализа	145
3.2.2. Примеры проектирования и исследования установок энерготехнологического комбинирования в доменном производстве (<i>Для магистров</i>)	149
3.2.3. Примеры расчета эксергетических балансов теплотехнологического оборудования	168
3.2.4. Пинч-анализ	178
3.3. Основы теплового расчета	185
3.3.1. Процессы переноса тепла	185
3.3.2. Современные инженерные расчеты теплообменных аппаратов	186
3.3.3. Определение коэффициента теплопередачи	195
3.4. Гидравлический расчет аппаратов и трубопроводов	200
3.5. Особенности течения жидкостей в каналах некруглого поперечного сечения	203
3.6. Интенсификация теплообмена в трубах и каналах	217
3.7. Методические основы экономических расчетов	230
3.8. Нормы и методы расчета на прочность деталей аппаратуры	233
3.9. Математическое моделирование тепловых задач	245
3.9.1. Численные методы решения задач теплопроводности	246
3.9.2. Численные методы исследований конвективного теплообмена	253
3.9.3. Динамика теплообменных аппаратов	277
3.9.4. Анализ сопряженного теплообмена прямоугольных каналов	292
3.9.5. Температурные характеристики для теплообменных аппаратов со сложными схемами тока сред	299
3.9.6. Уточненный расчет температурных характеристик <i>теплообменных аппаратов с перекрестным током</i>	301
3.10. Обратные задачи теплопроводности	310
<i>Приложения</i>	329
Список <i>литературы</i>	356
РАЗДЕЛ 4. НАГРЕВ, СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ	359
4.1. Нагревание топочными и дымовыми газами	359
4.1.1. Проектирование рекуператоров <i>промышленных печей</i>	361
4.1.2. Проектирование вращающихся <i>воздухоподогревателей</i>	377
4.2. Нагревание водяным паром и горячей водой. Калориферы	387
4.3. Нагревание высокотемпературными теплоносителями	396

4.6. Водоснабжение промышленных предприятий. Системы охлаждения.....	409
4.7. Сооружения для охлаждения оборотной воды. Градирни.....	412
4.8. Системы кондиционирования воздуха.....	438
4.8.1. Основы проектирования установок кондиционирования воздуха.....	439
4.8.2. Расчет основного оборудования кондиционеров.....	448
4.9. Проектирование аппаратов воздушного охлаждения.....	456
4.10. Проектирование конденсационных устройств турбоустановок.....	470
4.11. Проектирование конденсаторов смешения.....	485
Приложения	497
<i>Список литературы</i>	553
РАЗДЕЛ 5. ТЕПЛО- И МАССОБМЕННЫЕ АППАРАТЫ И УСТАНОВКИ	555
5.1. Основные конструкции и параметры нормализованных трубчатых теплообменных аппаратов.....	555
5.1.1. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты.....	556
5.1.2. Теплообменные аппараты «труба в трубе».....	572
5.2. Аппараты с ребристыми поверхностями теплообмена.....	573
5.3. Эффективные конструкции теплообменных аппаратов из листов.....	578
5.3.1. Ламельные теплообменные аппараты.....	578
5.3.2. Спиральные теплообменные аппараты.....	581
5.3.3. Пластинчатые теплообменники.....	586
5.3.4. Пластинчато-ребристые теплообменники.....	597
5.4. Специальные типы теплообменников.....	605
5.4.1. Газо-газовые теплообменники из высокотеплопроводных стержней.....	605
5.4.2. Тонкостенные кожухотрубные теплообменники.....	612
5.4.3. Теплообменные аппараты конструкций «Фаст инженеринг».....	614
5.4.4. Теплообменные аппараты периодического действия. Расчет тепловых аккумуляторов.....	618
5.4.5. Ребристые экономайзеры.....	631
5.4.6. Расчет тепловых труб.....	637
5.4.7. Теплообменные аппараты из фторопласта.....	643
5.4.8. Теплообменные аппараты криогенной техники.....	648
5.4.9. Рекуператоры тепла вентиляционного воздуха.....	654
5.5. Проектирование регенеративных подогревателей паровых турбин.....	662
5.6. Проектирование деаэрационных установок.....	674
5.7. Проектирование автоклавов.....	693
5.8. Контактные экономайзеры с активной насадкой.....	705
Приложения	716
<i>Список литературы</i>	743
<i>Перечень приложений</i>	744
<i>Коротко об авторах</i>	746