

В. П. Мешалкин, Л. Л. Тозажнянский, П. А. Капустенко

**ОСНОВЫ  
ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**



International Year of  
**CHEMISTRY**  
2011

*Году химии посвящается*



**МЕШАЛКИН Валерий Павлович -**

член-кор. Российской академии наук, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор, д-р. техн. наук, Лауреат Премии Президента РФ в области образования (2003 г.), Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (2008 г.), Почетный работник высшего профессионального образования РФ, директор Международного института логистики ресурсо-сбережения и технологической инноватики Российского химико-технологического университета (РХТУ) им. Д. И. Менделеева, гл. научный сотрудник Института Общей и Неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, зав. кафедрой Логистики и экономической информатики РХТУ им. Д. И. Менделеева. Автор более 790 научных трудов, в том числе 2-х личных монографий, 29 монографий и учебников; 13 авторских свидетельств и патентов; 12 брошюр.



**ТОВАЖНЯНСКИЙ Леонид Леонидович -**

заслуженный работник высшей школы, лауреат Государственной премии Украины, действительный член Международной академии наук, технологии и инжиниринга, действительный член Академии наук высшей школы, ректор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой «Интегрированные технологии, процессы и аппараты». Автор более 400 научных трудов, в том числе 32 монографий, учебников и учебных пособий; 16 авторских свидетельств и патентов.



**КАПУСТЕНКО Петр Алексеевич -**

профессор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», действительный член Академии Строительства Украины, Председатель Правления и Генеральный директор Акционерного Общества «Содружество-Т» (Украина), Председатель Правления ЗАО «Теплокомплект» (Россия). Автор более 100 научных трудов, в том числе 9 монографий, учебников и учебных пособий, 6 авторских свидетельств и патентов.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

**В. П. Мешалкин, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко**

**ОСНОВЫ  
ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

Учебное пособие

Харьков НТУ «ХПИ» 2011

ББК 65.304.13

М55

УДК 665.6

Рецензенты:

*Ю. М. Мацевитый*, проф., акад. НАН Украины, директор института проблем машиностроения  
НАН Украины, председатель наблюдательного совета АНОК «Ресурс»;

*Ю. Б. Данилов*, д-р техн. наук, заведующий научно-исследовательским отделом оборудования  
для химической и нефтеперерабатывающей промышленности ОАО «УкрНИИХиммаш»;

*В. Е. Ведь*, д-р техн. наук, проф., и. о. зав. кафедрой «Интегрированные технологии процессы  
и аппараты» НТУ «ХПИ»

У посібнику викладено теоретичні основи енергоресурсозбереження та мінімізації відходів на підприємствах нафтогазохімічного комплексу; фізико-хімічні, термодинамічні та організаційно-управлінські методи розробки ресурсоепергозберігаючих технологій нафтопереробки. Надано визначення понять енергоресурсоефективності та екологічної ефективності технологічних процесів; понять логістики ресурсоенергозбереження і «зелених» низок постачання. Наведено сучасні методи і принципи інтеграції процесів з ілюстрацією їх застосування.

**В. П. Мешалкин и др.**

М55 Основы энергоресурсоэффективных экологически безопасных технологий нефтепереработки : учеб. пособие / В. П. Мешалкин, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко. - Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. - 616 с. - На рус. яз.

ISBN 978-966-593-902-3

В пособии изложены теоретические основы энергоресурсосбережения и минимизации отходов на предприятиях нефтегазохимического комплекса; физико-химические, термодинамические и организационно-управленческие методы разработки ресурсоэнергосберегающих технологий нефтепереработки. Даны определения понятий энергоресурсоэффективности и экологической эффективности технологических процессов; понятий логистики ресурсоэнергосбережения и «зеленых» цепей поставок. Приведены современные методы и принципы интеграции процессов с иллюстрацией их применения.

Ил. 257. Табл. 91. Библиогр.: 68 назв.

ББК 65.304.13

УДК 665.6

ISBN 978-966-593-902-3

© В. П. Мешалкин, Л. Л. Товажнянский,  
П. А. Капустенко, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

Представление книги.....	9
Предисловие.....	12
Введение.....	16
Основные русские аббревиатуры.....	23
Основные английские аббревиатуры.....	25
Основные условные обозначения.....	27

### Часть I

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<b>Глава 1. Концепции энергоресурсоэффективности и экологической безопасности химико-технологических систем.....</b>	<b>31</b>
1.1 Понятия теории энергоресурсосберегающих экологически безопасных химико-технологических систем.....	31
1.2 Показатели энергоресурсоэффективности и экологической эффективности химико-технологических систем.....	48
1.3 Ресурсоэнергосбережение как комплексная организационно-экономическая и инженерно-технологическая деятельность.....	55
1.4 Способы энергоресурсосбережения в химико-технологических системах.....	62
1.5 Энергетическая безопасность и энергосбережение - важнейшие факторы устойчивого развития.....	70
<b>Глава 2. Методология и принципы разработки энергоресурсосберегающих химико-технологических систем.....</b>	<b>79</b>
2.1 Многоэтапная методология разработки энергоресурсосберегающих химико-технологических систем.....	79
2.2 Краткая характеристика принципов автоматизированного синтеза энергоресурсосберегающих химико-технологических систем.....	80
2.3 Пинч-анализ как инструмент определения наилучших способов повышения энергоэффективности химико-технологических систем.....	84
<b>Глава 3. Научные предпосылки, модели и методы пинч-анализа химико-технологических систем.....</b>	<b>92</b>
3.1 Составные температурно-энтальпийные кривые и определение целевых значений показателей энергосбережения для химико-технологических систем.....	92
3.2 Табличный метод определения целевых значений показателей энергосбережения для химико-технологических систем.....	107
3.3 Метод декомпозиции технологических потоков химико-технологических систем на тепловой источник и сток.....	116

3.4	Сеточные тепловые диаграммы как модели рекуперативных теплообменных систем.....	123
3.5	Методика подготовки исходной информации для проведения пинч-анализа.....	129
<b>Глава 4. Определение целевых показателей энергоресурсосбережения и выбор внешних энергоносителей для проектируемых теплообменных систем с использованием пинч-анализа.....</b>		
4.1	Определение количества теплообменников в энергоэффективной проектируемой теплообменной системе.....	135
4.2	Целевые значения для площади поверхности теплообмена.....	142
4.3	Целевые значения для числа секций в кожухотрубчатых теплообменниках.....	153
4.4	Целевые значения для капитальных затрат.....	161
4.5	Целевые значения для приведенных затрат на проектируемую энергоресурсоэффективную теплообменную систему.....	169
4.6	Минимизация числа теплообменников в проектируемой теплообменной системе.....	174
4.7	Определение потенциала энергоэффективности химико-технологических систем.....	184
<b>Глава 5. Пинч-анализ энергоэффективности типовых процессов химической технологии.....</b>		
5.1	Определение эксергетических потерь в теплообменных системах с использованием пинч-анализа.....	195
5.2	Пинч-анализ энергоэффективности процессов дистилляции.....	201
5.3	Пинч-анализ энергоэффективности низкотемпературных процессов химической технологии.....	204
<b>Глава 6. Эвристические методы разработки оптимальных энергосберегающих рекуперативных теплообменных систем на основе пинч-анализа.....</b>		
6.1	Эвристические правила сравнения теплоемкостей потоков для теплообменных систем.....	211
6.2	Эвристическое правило контрольных отметок на сеточной тепловой диаграмме.....	219
6.3	Методы разделения расходов технологических потоков на сеточной тепловой диаграмме.....	226
6.4	Методы разработки оптимальных энергосберегающих теплообменных систем с минимальной поверхностью теплообмена.....	235
<b>Глава 7. Методы разработки оптимальных водосберегающих химико-технологических систем с использованием водного пинч-анализа.....</b>		
7.1	Нормативы водопотребления и водоотведения в химико-технологических системах.....	246
7.2	Организация отведения и технологии обработки сточных вод химико-технологических систем.....	264

7.3	Понятие водного пинч-анализа химико-технологических систем.....	280
7.4	Метод водного пинч-анализа для разработки оптимальных водопотребляющих химико-технологических систем с одним загрязняющим веществом.....	283
7.5	Метод водного пинч-анализа для разработки оптимальных водопотребляющих химико-технологических систем с несколькими загрязняющими веществами.....	290
7.6	Модифицированный метод водного пинч-анализа для разработки оптимальных водообрабатывающих химико-технологических систем.....	296

**Глава 8. «Зеленая» логистика как организационно-управленческий фактор повышения энергоэффективности и экологической безопасности предприятий нефте-газохимического комплекса.....**

8.1	Основные методы и стратегии «зеленой» логистики.....	309
8.2	Физико-химические и логистические концепции разработки энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий переработки промышленных отходов.....	319
8.3	Комплексная методология разработки энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий переработки промышленных отходов с использованием принципов «зеленой» логистики.....	325

**Часть II**

**ПЕРЕДОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

**Глава 9. Основные направления и способы повышения энергоэффективности технологий нефтепереработки .....**

9.1	Оптимизация качества моторных топлив и структура нефтеперерабатывающих заводов.....	334
9.2	Методы термодинамического и экономического анализа эффективности нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов.....	337
9.3	Организационно-структурные и технологические способы повышения энергоэффективности нефтеперерабатывающих заводов.....	344
9.4	Комбинирование технологических процессов и установок на нефтеперерабатывающих предприятиях.....	350

**Глава 10. Общая характеристика технологий минимизации отходов предприятий нефтегазохимического комплекса.....**

10.1	Технологии минимизации отходов систем энергообеспечения.....	356
10.2	Технологические процессы и аппараты сжигания отходов.....	362
10.3	Технологические процессы и аппараты очистки газовых выбросов от твердых частиц.....	364

10.4	Технологические процессы и аппараты очистки газовых выбросов.....	366
10.5	Технологические процессы и аппараты очистки сточных вод.....	367
<b>Глава 11. Системы энергообеспечения и способы повышения энергоэффективности на нефтеперерабатывающих предприятиях.....</b>		
11.1	Топливо-энергетические ресурсы, оборудование и установки систем энергообеспечения.....	378
11.2	Виды генерируемых энергоносителей и методы управления энергоресурсами предприятий.....	385
11.3	Основные способы повышения энергоэффективности на нефтеперерабатывающих заводах.....	391
11.4	Способы рационального использования вторичных энергоресурсов на промышленных предприятиях.....	396

### Часть III

## ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ И ИСТОЧНИКИ ОТХОДОВ ЕВРОПЕЙСКИХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

<b>Глава 12. Объемы потребления материальных ресурсов и источники выбросов на нефтеперерабатывающих заводах.....</b>		
12.1	Общий материальный баланс и результаты экологического аудита нефтеперерабатывающих заводов.....	413
12.2	Источники выбросов диоксида углерода и оксидов азота.....	416
12.3	Источники и объемы выбросов твердых частиц.....	419
12.4	Источники и объемы выбросов оксидов серы.....	420
12.5	Источники и объемы выбросов летучих органических соединений.....	425
<b>Глава 13. Источники отходов систем энергообеспечения европейских нефтеперерабатывающих заводов.....</b>		
13.1	Методические основы управления отходами нефтеперерабатывающих заводов.....	428
13.2	Источники газовых выбросов, сточных вод и твердых отходов.....	431
<b>Глава 14. Энергоэффективность и отходы систем энергообеспечения нефтеперерабатывающих заводов.....</b>		
14.1	Показатели энергоэффективности и мощность систем энергообеспечения.....	439
14.2	Газовые выбросы систем энергообеспечения.....	443
14.3	Выбросы твердых частиц, сточные воды и твердые отходы.....	449

**Часть IV**  
**НАИЛУЧШИЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСООБЪЕКТИВНЫЕ**  
**МЕТОДЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ**

<b>Глава 15. Методы повышения энергоэффективности систем энергообеспечения.....</b>	<b>452</b>
15.1 Классификация методов повышения энергоэффективности систем энергообеспечения и управления энергообеспечением.....	452
15.2 Использование экологически чистых видов топлива.....	459
15.3 Методы повышения эффективности энергогенерирующего оборудования.....	464
15.4 Экологически эффективные установки комбинированного производства энергии.....	470
<b>Глава 16. Технологии минимизации выбросов в атмосферу от систем энергообеспечения.....</b>	<b>475</b>
16.1 Методы контроля и классификация технологий снижения выбросов оксидов азота.....	475
16.2 Технологии термического восстановления оксидов азота.....	481
16.3 Хемосорбционные и каталитические технологии снижения выбросов оксидов азота.....	487
16.4 Технологии снижения выбросов твердых частиц и оксидов серы.....	492
<b>Глава 17. Технологии минимизации сточных вод.....</b>	<b>496</b>
17.1 Источники образования и классификация технологий очистки сточных вод.....	496
17.2 Технологии нейтрализации сточных вод.....	499
17.3 Методы очистки сточных вод от углеводов.....	504
17.4 Двухстадийная технология очистки сточных вод.....	507
17.5 Технологии биологической очистки стоков.....	510
<b>Глава 18. Технологии минимизации твердых отходов.....</b>	<b>516</b>
18.1 Разработка и реализация программы минимизации твердых отходов.....	516
18.2 Технологии переработки шламов.....	518
18.3 Технологии переработки отработанных катализаторов.....	523
18.4 Методы повторного использования отходов.....	526
18.5 Технологии биоразложения, стабилизации, отверждения и захоронения отходов.....	529
<b>Глава 19. Методология интегрированного экономико-организационно-экологического управления нефтеперерабатывающими заводами.....</b>	<b>533</b>
19.1 Методы, средства и инструменты управления охраной окружающей природной среды.....	533
19.2 Рациональная организация заводского хозяйства, обучение персонала и управление промышленной безопасностью.....	540

19.3	Методология управления водопотреблением на заводе.....	543
19.4	Методика разработки интегрированных систем экономико-организационно-экологического управления нефтеперерабатывающими заводами.....	549

## Часть V

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПИНЧ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

<b>Глава 20. Разработка энергоресурсоэффективной теплообменной системы реконструируемой установки первичной нефтепереработки.....</b>		<b>563</b>
20.1	Пинч-анализ потенциала энергоэффективности действующей установки первичной нефтепереработки.....	563
20.2	Разработка проекта энергоресурсоэффективной теплообменной системы для реконструируемой установки с использованием методов пинч-анализа.....	571
<b>Глава 21. Разработка энергоресурсоэффективной теплообменной системы реконструируемой установки каталитического крекинга.....</b>		<b>576</b>
21.1	Методика реконструкции действующей теплообменной системы с использованием пинч-анализа.....	576
21.2	Сбор исходных технологических и экономических данных для решения задачи реконструкции.....	582
21.3	Методы пинч-анализа потенциала энергоэффективности действующей теплообменной системы.....	585
21.4	Разработка проекта энергоресурсоэффективной реконструируемой теплообменной системы с использованием методов пинч-анализа.....	588
Литература.....		595
Англо-русский словарь основных терминов.....		599
Русско-английский словарь основных терминов.....		608
Сведения об авторах.....		