



## Зарубежный учебник

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ, ДИССЕРТАЦИИ -  
полные тексты

На сайте электронной библиотеки

[www.учебники.информ2000.рф](http://www.учебники.информ2000.рф)

НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты, чертежи...
3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе ТЕХНИКА

Приглашаем авторов



Т.Е. Григэл

Б.Р. Алленби

Вернуться в каталог учебников

<http://учебники.информ2000.рф/учебники.shtml>

**Серия «Зарубежный учебник»**

# **ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

# INDUSTRIAL ECOLOGY

Second Edition

**T. E. Graedel**

*Professor of Industrial Ecology  
Yale University*

**B. R. Allenby**

*Research Vice President, Technology and Environment  
AT&T*



Pearson Education, Inc  
Upper Saddle River, New Jersey



Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Перевод с английского  
под редакцией профессора *Э.В. Гирусова*

*Рекомендовано Учебно-методическим центром  
«Профессиональный учебник» в качестве учебного пособия  
для студентов вузов, обучающихся  
по естественно-научным специальностям (010000)  
и специальности «Экономика и управление на предприятиях» (060800)*



Москва • 2012

УДК [502.1+628.5](075.8)

ББК 20.1я73

Г83

Перевод с английского *С.Э. Шмелева*

Главный редактор издательства  
доктор экономических наук *Н.Д. Эриашвили*

**Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р.**

**Г83** Промышленная экология: Учеб. пособие для вузов /Пер. с англ. под ред. проф. Э.В. Гирусова. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. — 527 с. — (Серия «Зарубежный учебник»).

ISBN 0-13-046713-8 (англ.)

ISBN 5-238-00620-9 (русск.)

Промышленная экология — это современный подход к анализу взаимодействий экономики и окружающей среды. Это сочетание технологии и общества, которое имеет много граней и много смыслов. Промышленный эколог должен понимать корпоративные и социальные взаимодействия, взаимодействия промышленной деятельности с окружающей средой. Только тогда появляется логическая структура, в которую вписываются цели и методы. Учебник включает разделы: «*Введение в проблему*», «*Физические, биологические и общественные основы*», «*Проектирование с учетом требований окружающей среды*», «*Корпоративная промышленная экология*» и «*Промышленная экология системного уровня*». В конце глав приведены упражнения для самостоятельной проработки.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по естественно-научным специальностям и специальности «Экономика и управление на предприятиях», а также для руководителей и специалистов предприятий и организаций.

**ББК 20.1я73**

ISBN 0-13-046713-8 (англ.)

ISBN 5-238-00620-9 (русск.)

Authorized translation from the English language  
edition, entitled INDUSTRIAL ECOLOGY,

2nd Edition by GRAEDEL, THOMAS E.; ALLENBY, BRADEN R., published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2003, 1995 by AT&T.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

RUSSIAN language edition published by UNITY-DANA Publisher, Copyright © 2004

Официальный перевод с английского языка книги INDUSTRIAL ECOLOGY, 2-е изд., авторов Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби, с разрешения Pearson Education, Inc., осуществляющей издания под именем Prentice Hall, © 2003, 1995 AT&T Все права защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части в любой форме и любыми средствами запрещается без разрешения Pearson Education, Inc.

© ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА, перевод, оформление, 2004

## **Предисловие научного редактора перевода**

Когда в конце 60-х годов прошлого столетия социальная экология формировалась как самостоятельная глобальная область знания, никто и не подозревал, что через какие-нибудь неполные 40 лет она станет одной из самых универсальных, нужных и перспективных во всей совокупности современных наук.

Любая сфера человеческой жизни теперь получает экологическое измерение. Настало время выстроить новый тип отношений с окружающей нас природной средой: с потребительского и эксплуататорского предстоит перейти на паритетный и партнерский тип отношений, а это очень трудно, поскольку для этого нужно перешагнуть через самих себя, отказаться от многих расточительных привычек, перейти на разумно достаточный уровень материального потребления при расширенном в то же время росте духовных потребностей и всемерном развитии в этой сфере. Готовы ли мы к таким новациям? Что нам больше всего мешает сделать такой выбор?

Вероятно, больше всего мешает не инерция привычек и консерватизм человеческой натуры, а давно сложившаяся установка на понимание прогресса общества как неперемennого роста всего и вся, и прежде всего потребительской сферы материальных благ.

Потребление ресурсов давно уже вышло за пределы возможностей окружающей нас природы, возможности же утилизировать непрерывно растущие потоки отходов крайне ограничены.

Количество отходов не просто растет; они становятся все более качественно не совместимыми с природными процессами: эти процессы не способны разложить и усвоить многие материалы, совершенно чуждые природным деструкторам — в основном микроорганизмам.

Человек должен думать об этом заранее, закладывая в будущее отходы производственной и потребительской деятельности такие свойства, которые позволят природе достаточно хорошо справляться с ними и не отравят биосферу веществами и процессами, опасными для живых организмов. Биосферному подходу в техногенной деятельности учит эта книга.

Поражает дотошность и скрупулезность авторов, вникающих во все тонкости современного производства в стремлении привести его в соответствие с биосферными требованиями.

Когда вслед за ними просматриваешь все звенья сложной технологической цепочки производства какого-нибудь самого обычного продукта, невольно поражаешься, как много изменений в производственный процесс можно внести еще на проектной фазе, чтобы производство стало более безвредным для окружающей среды, а будущие отходы либо не образовывались, либо были более безвредны для жизни, либо

## VI

переставали быть отходами, становясь исходными материалами для других процессов.

Новизна экологической ситуации в том, что пределы природы, окружающей нас, уже давно позади, а мы оказались неподготовлены к должному восприятию этого. До осознания приоритета биосферного подхода еще очень далеко, но ведь никто не может с необходимой точностью сказать, с какого момента соблюдать этот подход станет слишком поздно.

Авторы этой книги ненавязчиво и очень убедительно, с хорошим знанием дела показывают, как можно, используя современные достижения науки и техники, варьировать материалами, технологией, звеньями технологических цепей, чтобы сделать современное производство и потребление максимально безопасными для окружающей среды и, в конечном счете, для нас самих.

Книга будет чрезвычайно полезной не только для специалистов сферы материального производства, но и для всех тех, кто думает и заботится о поддержании среды жизни в здоровом и благополучном для нас состоянии.

*Профессор Э. Гирусов*

## Оглавление

Предисловие	1
<b>Часть I Введение в проблему</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1 Человечество и окружающая среда</b>	<b>6</b>
1.1 Трагедия пастбищ	6
1.2 Основное уравнение	11
1.3 Главные цели	15
1.3.1 Связь главных целей с экологической наукой	17
1.3.2 Целенаправленные действия технологических обществ	21
1.3.3 Действия индустриализованного общества	22
1.4 Обращаясь к проблеме	25
<b>Глава 2 Концепция промышленной экологии</b>	<b>28</b>
2.1 От сиюминутного мышления к перспективному	28
2.2 Связь промышленной деятельности с экологическими и социальными науками	32
2.3 Ключевые вопросы промышленной экологии	34
2.4 Резюме	35
<b>Глава 3 Технологические перемены и изменяющийся риск</b>	<b>39</b>
3.1 Исторические закономерности технологической эволюции	39
3.2 Подходы к риску	45
3.3 Оценка риска	50
3.4 Сообщение о наличии риска	53
3.5 Управление риском	54
<b>Часть II Физические, биологические и общественные основы</b>	<b>59</b>
<b>Глава 4 Отношение биоэкологии к технологии</b>	<b>60</b>
4.1 Рассматривая аналогию	60
4.2 Биологические и промышленные организмы	61
4.3 Пищевые цепи: сети переноса питательных веществ и энергии	66
4.4 Экология популяций	73
4.5 Классификация отдельных связей	76
4.6 Польза экологического подхода	80
<b>Глава 5 Статус ресурсов</b>	<b>83</b>
5.1 Введение	83
5.2 Время исчерпания и ограниченные ресурсы	83
5.3 Сопутствующие ресурсы (вкрапления в основную породу)	86
5.4 Энергоресурсы	88



## VIII

5.4.1 Обмен энергии на минеральное сырье	88
5.4.2 Источники энергии	89
5.4.3 Статус энергетических ресурсов	89
5.5 Энергетически ограниченные ресурсы	91
5.6 Географическая обусловленность доступности ресурсов	93
5.7 Экологически ограниченные ресурсы	94
5.8 Кривые кумулятивного предложения	96
5.9 Водные ресурсы	98
5.10 Резюме	99

## Глава 6 Общество и культура 102

6.1 Общество, культура и промышленная экология	102
6.2. Культурные конструкции и временные шкалы	104
6.3 Частная фирма в социальном контексте	107
6.4 Охрана окружающей среды, технология и общество	108

## Глава 7 Правительства, законы и экономические системы 115

7.1 Национальные правительственные структуры и действия	115
7.2 Вопросы международного управления	120
7.3 Промышленная экология и правовая система	122
7.3.1 Фундаментальные правовые вопросы	123
7.3.2 Юридические примеры, относящиеся к промышленной экологии	127
7.4 Экономика и промышленная экология	130
7.4.1 Оценка	130
7.4.2 Ставки дисконта	132
7.4.3 Анализ выгод-затрат	133
7.4.4 Зеленый расчет	134
7.4.5 Заменяемость в противоположность дополнениям	136
7.4.6 Экстерналии	136
7.5 Финансы, капитал и инвестиции	137

## Часть III Проектирование с учетом требований окружающей среды 143

### Глава 8 Проектирование и разработка промышленных продуктов 144

8.1 Проблема проектирования продуктов	144
8.2 Концептуальные инструменты для конструкторов продуктов	146
8.2.1 Матрица выбора Пью	146
8.2.2 Дом качества	147
8.3 Проектирование учетом X	150
8.4 Команды конструкторов	154
8.5 Процесс реализации продукта	156

**Глава 9 Производственный процесс: проектирование и эксплуатация 161**

9.1 Проблема проектирования продуктов	161
9.2 Предотвращение загрязнения	162
9.3 Проблема доступности воды	167
9.4 Жизненный цикл процесса	169
9.4.1 Обеспечение ресурсами	170
9.4.2 Реализация процесса	170
9.4.3 Первичные операции	170
9.4.4 Дополнительные операции	171
9.4.5 Ремонт, рециклирование и размещение	172
9.5 Подход к анализу процесса	173
9.5.1 Процесс сам по себе	173
9.5.2 Оборудование для процесса	175
9.5.3 Дополнительные процессы	175
9.6 Руководящие принципы проектирования и реализации процесса	176
9.7 Последствия для корпораций	177

**Глава 10 Выбор материалов 179**

10.1 Вопросы выбора материалов	179
10.2 Материалы и опасность для окружающей среды	180
10.3 Источники и основные направления использования материалов	183
10.3.1 Абсолютное изобилие	183
10.3.2 Воздействие добычи и переработки ресурсов	185
10.3.3 Доступность и пригодность рециклированных материалов	188
10.4 Замена материалов	190
10.5 Многопараметрический выбор материалов	193
10.6 Количество материала	200
10.7 Руководство по выбору материалов	202

**Глава 11 Проектирование в целях повышения энергоэффективности 204**

11.1 Энергия и промышленность	204
11.2 Отрасли первичной переработки	206
11.3 Отрасли промежуточной обработки	209
11.4 Анализируя использование энергии	209
11.5 Общие подходы к минимизации использования энергии	214
11.5.1 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха	214
11.5.2 Освещение	214
11.5.3 Производство энергии на местах	215
11.5.4 Энергосберегающее ведение хозяйства	218
11.6 Резюме	219

**Глава 12 Доставка продуктов 221**

12.1 Введение	221
12.2 Общие проблемы упаковки	222
12.3 Проблемы твердых отходов	225

## **X**

12.4 Жидкие и газообразные выбросы и сбросы	229
12.5 Транспортировка и установка	230
12.6 Обсуждение и резюме	232

### **Глава 13 Экологические взаимодействия во время использования продукта 234**

13.1 Введение	234
13.2 Образование твердых отходов во время использования продукта	234
13.3 Образование жидких отходов во время использования продукта	235
13.4 Образование газообразных отходов во время использования продукта	236
13.5 Потребление энергии во время использования продукта	237
13.6 Намеренно рассеивающиеся продукты	238
13.7 Ненамеренно рассеивающиеся продукты	240
13.8 Конструкция для обслуживания	241

### **Глава 14 Конструирование с учетом окончания жизненного цикла 245**

14.1 Ведение	245
14.2 Общие вопросы окончания жизненного цикла	252
14.3 Переработка	255
14.4 Рециклирование	256
14.4.1 Металлы	256
14.4.2 Пластики	259
14.4.3 Продукты деревообработки	261
14.5 Связывание частей	261
14.6 Планирование возможности рециклирования	263
14.6.1 Проектирование с учетом возможности демонтажа	263
14.6.2 Проектирование «на всякий случай»	267
14.6.3 Приоритеты при рециклировании	268

### **Глава 15. Введение в оценку жизненного цикла 272**

15.1 Жизненный цикл промышленных продуктов	272
15.2 Рамки LCA	275
15.3 Постановка цели и определение рамок	278
15.4 Определение границ	279
15.4.1 Границы этапов жизни	280
15.4.2 Границы уровня детализации	281
15.4.3 Границы природных экосистем	281
15.4.4 Границы в пространстве и во времени	283
15.4.5 Выбор границ	283
15.5 Подходы к получению данных	284

### **Глава 16 Стадии воздействия и интерпретации LCA 291**

16.1 Анализ воздействия LCA	291
16.2 Промышленная приоритетность: система IVL/VOLVO	293
16.3 Анализ интерпретации	301

## XI

16.3.1 Явные и косвенные рекомендации	301
16.3.2 Таблицы приоритетности	303
16.4 Диаграммы приоритетности	306
16.4.1 Диаграмма приоритетности «действие—деятель»	306
16.4.2 Диаграмма приоритетности этапа жизненного цикла	308
16.5 Обсуждение	309
<b>Глава 17 Упрощенный анализ жизненного цикла</b>	<b>314</b>
17.1 Непрерывность оценивания	314
17.2 Перспектива сохранения	315
17.3 Матрица SLCA	318
17.4 Диаграммы-мишени	320
17.5 Оценивание среднестатистических автомобилей вчера и сегодня	321
17.6 Активы и обязательства SLCA	330
17.7 Обсуждение	331
<b>Глава 18 Использование инструментов корпоративной промышленной экологии</b>	<b>334</b>
18.1 Этапы и шкалы в промышленном экологическом менеджменте	334
18.2 Первый этап: соответствие регулированию	334
18.3 Второй этап: предотвращение загрязнения	336
18.4 Третий этап: проектирование для окружающей среды	337
18.5 Экологические возможности у ворот PRP	338
18.6 Механика и инструменты промышленной экологии	343
18.7 Инструментарий промышленной экологии для сектора услуг	344
<b>Часть IV Корпоративная промышленная экология</b>	<b>347</b>
<b>Глава 19 Управление промышленной экологией в корпорациях</b>	<b>348</b>
19.1 Обзор	348
19.2 Окружающая среда как стратегический фактор для фирм	349
19.3 Внедрение промышленной экологии в корпорации	351
19.3.1 Системы экологического менеджмента	353
19.3.2 Тактические организационные структуры	356
19.3.3 Программы обучения	356
19.3.4 Техническая поддержка	357
19.3.5 Тройной итог	357
<b>Глава 20 Индикаторы и метрики</b>	<b>361</b>
20.1 Важность индикаторов и метрик	361
20.2 Разработка систем метрик	362
20.3 Метрики уровня промышленности	365
20.4 Отображение и объединение метрик	369

## XII

20.5 Системы иерархических метрик	371
-----------------------------------	-----

### **Глава 21 Услуги, технология и окружающая среда 376**

21.1 Определение услуг	376
21.1.1 Альфа-услуги: клиент приходит к услуге	379
21.1.2 Бета-услуги: услуга приходит к клиенту	380
21.1.3 Гамма-услуги: оказание услуги на расстоянии	381
21.2 Экологические аспекты услуг	382
21.3 Промышленная экология фирм, предоставляющих услуги	385
21.3.1 Воздействие на поставщиков	386
21.3.2 Обучение потребителей	387
21.3.3 Стимулирование экологически предпочтительного использования ресурсов и продуктов	388
21.3.4 Замена использования энергии и материалов услугами	389
21.3.5 Услуги как источник повышения качества жизни	390

### **Часть V Промышленная экология системного уровня 393**

#### **Глава 22 Промышленные экосистемы 394**

22.1 Концепция экосистемы	394
22.2 Промышленный симбиоз	400
22.3 Проектирование и разработка симбиотических промышленных экосистем	403
22.4 Поток ресурсов в промышленных экосистемах	406
22.5 Закономерности и масштаб в промышленных экосистемах	410
22.6 Полезность смешанных экологических подходов	412

#### **Глава 23 Анализ метаболизма и ресурсов 414**

23.1 Бюджеты и циклы	414
23.2 Метаболический анализ в промышленной экологии	420
23.3 Анализ ресурсов в промышленной экологии	424
23.3.1 Анализ элементов	425
23.3.2 Молекулярный анализ	425
23.3.3 Анализ вещества	427
23.3.4 Анализ материалов	428
23.4 Баланс между природной и антропогенной мобилизацией ресурсов	431
23.5 Полезность анализа метаболизма и ресурсов	432

#### **Глава 24 Системный анализ, модели и разработка сценариев 434**

24.1 Мышление на системном уровне	434
24.1.1 Концепция систем	434
24.1.2 Технологическая система автомобильной промышленности	437
24.2 Модели технологических систем	442
24.2.1 Концепция модели	442

## XIII

24.2.2 Железо и сталь в Великобритании: пример модели	444
24.2.3 Проверка модели	447
24.3 Описание возможного будущего	448
24.3.1 Полезность сценариев	448
24.3.2 IMAGE-модель изменения климата	449
24.3.3 Сценарий IPCC 2000	453
24.4 Развитие прогностической промышленной экологии	456

## Глава 25 Инжиниринг и менеджмент геосистем 459

25.1 Представляя концепцию	459
25.2 Примеры ESEM, реализованные и предлагаемые	460
25.2.1 Восстановление «коричневых полей»	461
25.2.2 Очистка вод	461
25.2.3 Восстановление болот в региональном масштабе	462
25.2.4 Борьба с глобальным потеплением	463
25.3 Принципы ESEM	469
25.3.1 Теоретические принципы ESEM	469
25.3.2 Принципы управления ESEM	470
25.3.3 Принципы проектирования и осуществления ESEM	471
25.4 Сталкиваясь с вопросами ESEM	472

## Глава 26 Будущее промышленной экологии 476

26.1 Промышленная экология на пути перемен	476
26.2 Хозяйственный магазин промышленной экологии	478
26.2.1 Инструменты для проектировщика продуктов и процессов	478
26.2.2 Инструменты для корпоративного менеджера	479
26.2.3 Инструменты для поставщика услуг	479
26.2.4 Инструменты для системного аналитика	480
26.2.5 Инструменты для лица, принимающего решения	480
26.3 Промышленная экология как развивающаяся наука	481
26.4 Дорожная карта исследований в области промышленной экологии	485
26.4.1 Теоретические цели промышленной экологии	487
26.4.2 Экспериментальные цели промышленной экологии	488
26.4.3 Прикладные цели промышленной экологии	489
26.5 Переопределяя проблему	490

Приложение А Альтернативы электронному припою: детальное изучение	492
Приложение В Единицы измерения в промышленной экологии	503
Глоссарий	505

*Памяти Роберта А. Лаудиза,  
подвижника промышленной экологии*

## Предисловие

Много лет считали, что цели промышленности несовместимы с целями охраны и улучшения окружающей среды. Трудно сказать, так ли это было в прошлом, но без сомнения сегодня это не так. Все больше дальновидных корпораций и все больше дальновидных государств осознают, что обеспечение требуемого качества жизни на Земле будет требовать не меньшей, но большей промышленной активности, не меньшей, но большей зависимости от новых технологий, не меньшего, но большего взаимодействия технологии с обществом; что обеспечение устойчивого мира будет требовать пристального внимания к взаимодействию промышленности и окружающей среды. Это осознание сможет гарантировать, что компании, которые ответственно подходят к промышленной деятельности, не только будут избегать проблем, но и получат выгоду от их предвидения.

В самом деле, участие промышленности играет решающую роль, если мы хотим, чтобы мир достиг устойчивого развития. Роберт Сиверс (Robert Sievers) из University of Colorado отмечает, что у правительств есть много краткосрочных проблем, требующих внимания: достижение экономической стабильности, обеспечение питанием населения, численность которого растет, создание политически жизнеспособных государств, обеспечение перехода от централизованно управляемой рыночной экономики к свободной и так далее. Поэтому действия многих правительств в обозримом будущем могут быть довольно ограниченными. В то же время корпорации становятся транснациональными, имеют более долгие горизонты планирования и в своем выживании и процветании зависят от относительной стабильности условий глобального бизнеса и от их реакции на потребности и интересы многих различных культур и народов. Частные фирмы, а не правительства выбирают, разрабатывают, внедряют и понимают технологию. Следовательно, ответственные корпорации могут оказаться среди мировых лидеров при переходе от неустойчивого развития к устойчивому, но им потребуется помощь правительств и неправительственных организаций в создании новых широких подходов и концепций, касающихся сложных взаимодействий, которые здесь затрагиваются.

При изучении взаимодействия промышленности и окружающей среды используют три важные временные шкалы. Первая — шкала прошлого; она связана почти исключительно со средствами борьбы с

## 2

ненадлежащим захоронением промышленных отходов. Вторая — шкала настоящего, она в основном связана с соответствием предписаниям, предотвращением очевидных ошибок прошлого и ответственным подходом к промышленным процессам. В рамках этой шкалы особое значение придается минимизации отходов, неупотреблению известных токсичных веществ и контролю выбросов в атмосферу, воду и почву по принципу «конца трубы». Корпоративная внутренняя среда и персонал, отвечающий за безопасность, а также производственный персонал часто участвуют в малых и умеренных изменениях процессов, которые показали свою ценность на протяжении многих лет. Ни с одной из этих двух временных шкал современные проектировщики промышленных процессов и инженеры не связаны сколько-нибудь серьезно.

Третья временная шкала — шкала будущего. Промышленная продукция, процессы и услуги, которые разрабатываются и создаются сегодня, будут определять большую часть взаимодействий в рамках системы «промышленность — окружающая среда» на протяжении нескольких последующих десятилетий. Таким образом, инженеры, разрабатывающие процессы и продукты, держат в своих руках будущее взаимодействие промышленности с окружающей средой и почти все они намерены учитывать в работе фактор окружающей среды.

Но их проблема заключается в том, что эта деятельность требует специальных знаний и взглядов, которые не были им даны в рамках их университетского или профессионального образования и не доступны им в их настоящем положении. Исправить это положение для студентов и специалистов-технологов мы и пытаемся в этой книге. Кроме того, мы построили книгу так, что она будет полезным дополнением к курсам политики, бизнеса, экологических наук, юриспруденции и других смежных специальностей, поскольку одинаково важно, чтобы студенты и профессионалы в этих областях лучше понимали роль технологии в смягчении или усилении экологических проблем.

Промышленная экология, которую мы определяем в гл. 2, — это современный подход к анализу взаимодействий экономики и окружающей среды. Будучи связанной с производством, она требует знания промышленных и экологических процессов и социальных взаимодействий — комбинации специальностей, которая встречается редко. Поэтому мы намеренно попытались сделать эту книгу полезной для тех, чья основная специальность связана с промышленностью, экологией или социальными науками, или тех, кто взаимодействует со специалистами в этих областях. Многие главы включают обсуждение традиционных производственных подходов к рассматриваемой проблеме, а также анализ возникающих воздействий на окружающую среду. Что касается последних, мы заостряем внимание на воздействиях, носящих долговре-



менный характер и распределенных в пространстве, поскольку более короткие горизонты анализа часто лучше осознаются и лучше регулируются, как изнутри, так и снаружи. Подходы различаются в зависимости от места, но в целом промышленная экология посвящена реализации экологических целей.

Книга состоит из пяти частей. *Первая*, «Введение в проблему», дает краткое определение темы и обрисовывает подход, используемый в книге. *Вторая*, «Физические, биологические и общественные основы», описывает «игровое поле» промышленной экологии, возможности и ограничения, задаваемые каждой из этих областей. В *третьей* части, «Проектирование с учетом требований окружающей среды», рассматриваются темы, центральные для разработчиков продуктов, процессов и услуг: энергия, материалы, доставка и использование продукта, окончание жизненного цикла. Здесь вводится и рассматривается центральная концепция оценки жизненного цикла. *Четвертая* часть, «Корпоративная промышленная экология», посвящена внедрению промышленной экологии в рамки корпоративной среды. В заключительной части, «Промышленная экология системного уровня», рассматриваются вопросы более широкие, чем проектирование, предприятие или корпорация, — промышленные экосистемы, анализ ресурсов, модели и прогнозы, геосистемы и их проектирование.

Мы намеренно смешали философские вопросы с практическими. Избежание такого смешения создаст текст, который легче писать и проще понимать, но он будет значительно дальше от действительности. Сущность промышленной экологии заключается в том, что это — сочетание технологии и общества, и это сочетание имеет много граней и много смыслов. Промышленный эколог должен понимать корпоративные и социальные взаимодействия и разбираться во взаимодействии промышленности с окружающей средой. Только тогда выстраивается логическая структура, в которую помещаются цели и методы.

То, как было принято первое издание этой книги, послужило нам наградой. Книга была опубликована в 1995 г., в то время, когда промышленная экология была молодой областью, ищущей определения, подходы и методы. Наша попытка удовлетворить эти запросы неизбежно была предварительной. Тем не менее несколько тысяч студентов и профессионалов пользовались этой книгой; Сукехиро Гото (Sukehiro Gotoh) из Японского национального института исследований в области окружающей среды перевел ее на японский. Несколько тысяч студентов и профессионалов познакомились с нашими следующими книгами: Проектирование для окружающей среды (Design for Environment, 1995), Промышленная экология и автомобиль (Industrial Ecology and the Automobile, 1998), Упрощенная оценка жизненного цикла (Streamlined Life-Cycle Assesment, 1998), Промышленная экология: политические рамки и при-

## 4

ложения (Industrial Ecology: Policy Framework and Applications, 1999); все книги изданы Prentice Hall. В течение последних нескольких лет в этой области появилось собственное издание — Журнал промышленной экологии, и образовалось Международное общество промышленной экологии. Сила и постоянство промышленной экологии сейчас очевидны.

В то время как промышленная экология развивалась, идеи, которые зародились десять лет назад, оформились, и возникли новые способы анализа взаимодействий технологии и окружающей среды. Поэтому значительную часть этого издания книги мы посвятили темам, не затронутым в первом издании: это — место и роль биологической экологии, индикаторы и метрики, сектор услуг, промышленный симбиоз, системный анализ и разработка сценариев и др. В учебнике по солидной дисциплине эти дополнения должны были стать результатом работы многих. Промышленная экология достаточно нова, и специалистов в этой области не так много, однако эти части упомянутых тем представляют нашу попытку определить и описать области, еще не рассматриваемые широко, но многообещающие. Эти новые области, по-видимому, способны перевести промышленную экологию из довольно узкой области, связанной в основном с разработкой продукта, в область, определяющую параметры и пути достижения устойчивого развития. В то же время промышленная экология становится все более междисциплинарной и все больше соответствует требованиям современности.

Мы признательны всем, кто помогал нам в подготовке второго издания. Подробные обзоры подготовили Арпад Хорват (University of California, Berkeley), Тимоти Консидайн (Pennsylvania State University), М. Бертрам, Р. Гордон, Р. Лифсет, Х. Рехбергер и С. Спатари: благодаря их комментариям книга стала намного лучше. За предоставление иллюстраций и примеров мы благодарим И. Хоркеби (Volvo Car Corporation) и Р. Тиэрни (Pratt & Whitney). Мы очень признательны персоналу издательства Prentice Hall, в особенности Марсии Хортон и Лоре Фишер, за помощь в выпуске книги, которая нам очень нравится. Наконец, мы благодарим AT&T, AT&T and Lucent Foundations, U.S. National Science Foundation, U.S. National Academy of Engineering за их поддержку наших инициатив в области промышленной экологии; их помощь была очень важна для развития этой новой области.

*Т.Е. Гридэл  
Б.Р. Алленби*

# ЧАСТЬ I

## ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМУ

## ГЛАВА 1

# Человечество и окружающая среда

### 1.1 ТРАГЕДИЯ ПАСТБИЩ

В 1968 г. Гарретт Хардин (Garrett Hardin) из University of California, Санта-Барабара, опубликовал статью в журнале Science, которая с каждым годом становится все более популярной. Хардин озаглавил свою статью «Трагедия пастбищ» («The Tragedy of the Commons»); ее основным тезисом было то, что общество, которое допускает абсолютную свободу действий в сферах, негативно влияющих на общественную собственность, неизбежно обречено на поражение. В качестве примера Хардин привел общественное пастбище, которым местные скотоводы пользуются по собственному усмотрению. Каждый скотовод, стремясь повысить свое благосостояние, не согласовывая с другими, увеличивает свое стадо. Поступая так, он получает дополнительный доход от возросшего стада, но истощение пастбища на него влияет слабо, по крайней мере, в краткосрочной перспективе. Однако в какой-то момент, зависящий от размеров и пышности общественного пастбища и растущей численности животных, чрезмерное использование разрушает пастбище и бедствие наступает всех.

Современная версия «трагедии пастбищ» обсуждалась Харвеем Бруксом (Harvey Brooks) из Harvard University. Брукс отмечает, что удобство, независимость и безопасность путешествия на личном автомобиле побуждает множество людей ездить на работу, в университет, в магазины. При небольшом потоке машин это абсолютно логично. Однако при определенном критическом потоке общественная сеть дорог не способна с ним справиться и малейшая проблема (будь то остановившийся автомобиль или небольшое происшествие) обрекает водителей на минуты и даже часы бездействия, что прямо противоположно их ожиданиям. Примеры частых проблем в системах сетей автодорог сейчас стали легендами: Лос-Анджелес, Токио, Неаполь, Бангкок, Мехико.

Общественное пастбище и общественная сеть автодорог — это примеры общественных систем, которые по сути локальны и могут управляться действиями местных (локальных) сообществ. В некоторых случаях это соблюдается и для части общественно-го достояния, касающегося окружающей среды: например, ненадлежащее захоронение отходов или выбросы сажи в результате процессов горения — по сути локальные проблемы. Однако выбросы в воду и в воздух относятся к проблемам другого порядка. Гидросфера и атмосфера — примеры не «местного», а «глобального общественного достояния», системы, которые могут быть изменены людьми по всему миру ради их собственной выгоды, но если их использовать неправильно, могут принести вред всем. Значительная часть деятельности общества воплощена в промышленности, и именно взаимоотношения промышленности и окружающей среды, в особенности в сфере глобального общественного достояния, составляют тему этой книги.

Несомненно, что современная технология принесла огромные выгоды народам мира: увеличение продолжительности жизни, повышение мобильности, сокращение использования ручного труда, практически всеобщую грамотность. Тем не менее взаимодействие промышленной деятельности человека с окружающей средой Земли вызывает растущие опасения, лучше всего выраженные в разрушающем стереотипе отчета «Наше общее будущее», опубликованном Всемирной комиссией по окружающей среде и развитию в 1987 г. Вопросы, поднятые в этом отчете, обретают новое значение в свете некоторых воздействий на окружающую среду. С 1700 г. оборот международной торговли вырос в 800 раз. За последние 100 лет объем мирового производства увеличился более чем в 100 раз. В начале XX в. производство синтетических органических веществ было минимально; сегодня объем их производства составляет более 225 млрд фунтов в год только в США. С 1900 г. темп мирового потребления ископаемого топлива увеличился в 50 раз. Важны не просто цифры сами по себе, но их значимость и довольно короткий исторический промежуток времени, который они представляют.

Наряду с этими очевидными воздействиями на систему заслуживают внимания и некоторые скрытые тенденции. Среди них — уменьшение региональных и глобальных способностей борьбы с антропогенными эмиссиями. Например, существенно

возросло производство диоксида углерода, связанное с экономической деятельностью человека (рис. 1.1), в основном с крайне быстрым ростом потребления энергии. Эта закономерность определяется эволюцией экономики в направлении более сложного состояния, ускоряющимся ростом использования и потребления материалов, а также ростом использования капитала. Эволюция общества сопровождалась изменениями формы потребляемой энергии, доля электрической (вторичной) в которой растет в противоположность биомассе или прямому использованию ископаемого топлива (первичной), в результате чего наблюдается известный экспоненциальный рост содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере с начала Промышленной революции (рис. 1.2). Таким образом, оказывается, что человечество растущими темпами использует способность атмосферы перерабатывать продукты собственной экономической деятельности.

Рост численности населения — это, естественно, основной фактор, обеспечивающий взрывной рост промышленности и возросшее использование и потребление материалов. С 1700 г. население мира увеличилось в 10 раз: сейчас его численность составляет примерно шесть миллиардов и ожидается, что она составит 10—12 млрд в конце XXI в. Обычно признают, что со времен Промышленной революции население продемонстрировало бурный рост; но часто не осознают такой чрезвычайно важный факт: как тесно рост численности населения связан с технологической и культурной эволюцией. Как показывает рис 1.3, три больших всплеска численности населения наблюдались в период начала использования орудий труда, сельскохозяйственной революции и Промышленной революции. Промышленная революция фактически состояла из технологической революции и «неосельскохозяйственной» революции (появление современных сельскохозяйственных технологий), которые создали то, что казалось неограниченными для роста населения ресурсами. Сегодня численность населения, урбанизация, экономические системы, культуры неразрывно связаны с тем, как мы используем, перерабатываем, выбрасываем или утилизируем природные и синтетические материалы и энергию, и с бесчисленными продуктами, которые из них производятся.

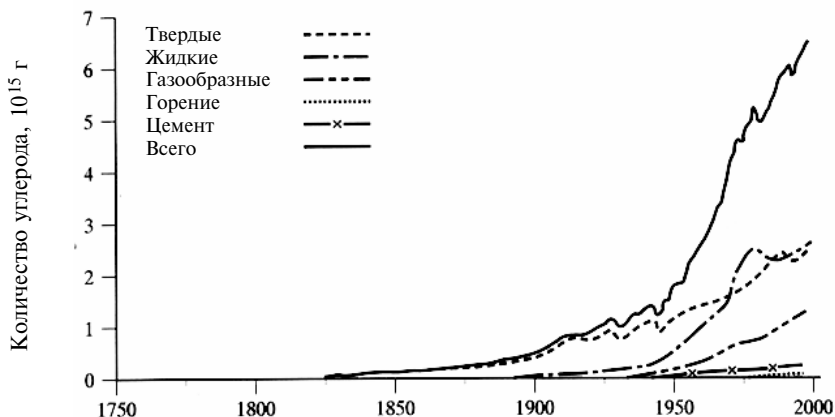


Рис. 1.1

Глобальные выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива, производства цемента и газовых факелов, 1860—1988 г. (Адаптировано по Carbon Dioxide Information Analysis Center, *Trends Online: A Compendium of Data on Global Change*, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Lab., <http://cdiax.esd.ornl.gov/trends>, assessed June 20, 2001.)

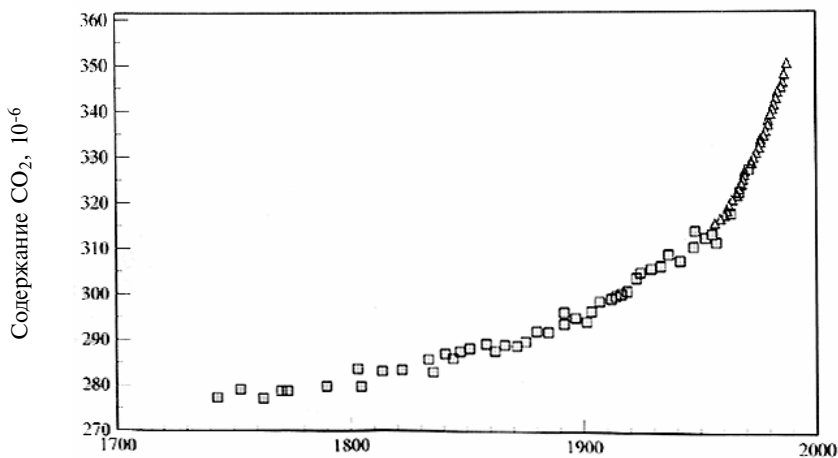


Рис. 1.2

Увеличение объемного содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере с 1700 г. (J.T. Houghton, G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums, Eds., *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1990.)

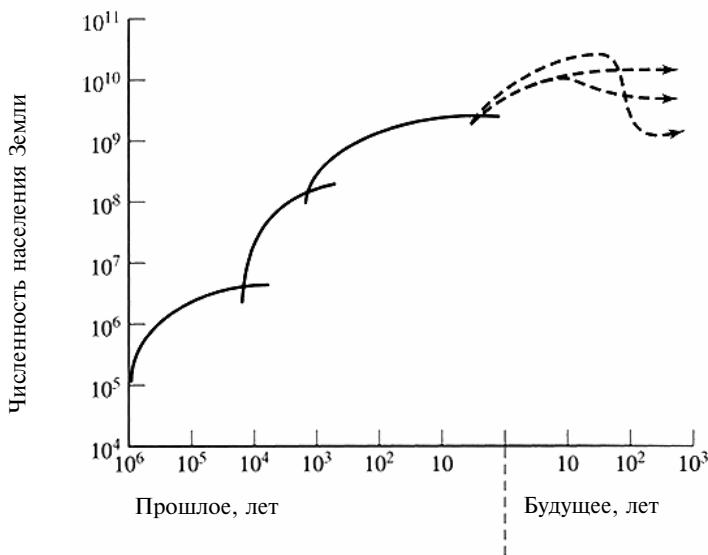


Рис. 1.3

Рост численности населения и этапы культурной эволюции человечества. Слева направо исторические стадии: использование орудий труда, сельскохозяйственная революция и промышленная революция. Четвертая (настоящая и будущая) стадия, показанная пунктиром, — стадия повсеместной технологии и значительного воздействия на окружающую среду. На рисунке изображены три возможных сценария четвертой стадии: стабильность численности населения достигается последовательными методами; уменьшение стабильности численности населения происходит в результате реализации программы сокращения использования технологий; это происходит в результате неуправляемого роста, за которым следует неуправляемый кризис (Основано на E.S. Deevey, Jr. The human population, *Scientific American*, 203 (3), 194—206, 160, и M.G. Wolman, The impact of man, *EOS-Trans. AGU*, 71, 1884—1886, 1990.)

Сказанное наводит на мысль о том, что планета и ее население далеки от устойчивого состояния и могут оказаться в неустойчивом положении. Могут быть предложены три возможных пути к долгосрочной стабильности: (1) управляемое сокращение роста до достижения долгосрочно устойчивого состояния численности населения/технологии/культуры (которое мы будем называть «несущей способностью» («*carring capacity*»)); (2) управляемое снижение численности населения до уровня,



устойчивого при меньшей технологической активности; или (3) неуправляемый кризис одного или более параметров (численности населения, культуры, технологии) до тех пор, пока не будет достигнута стабильность на каком-либо нежелательно низком уровне (рис. 1.3).

Эта перспектива имеет важный смысл. Когда мы объективно рассматриваем недавнее прошлое (а 200 лет можно считать недавним прошлым даже по меркам культурной эволюции человека и уж определенно — по меркам нашей биологической эволюции), один факт становится очевидным: промышленная революция в том виде, в котором мы ее знаем, не является устойчивой. Мы не можем продолжать использовать материалы и ресурсы так, как мы это делаем сейчас, в особенности в наиболее развитых странах. Но какова альтернатива?

## 1.2 ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ

Полезный способ определить наиболее эффективные шаги, которые общество может предпринять при стрессовых воздействиях на окружающую среду — исследование доминирующих факторов, участвующих в формировании этих воздействий. Очевидно, воздействия на многие аспекты геосистемы в большой степени обусловлены потребностями населения, которые необходимо обеспечить, и уровнем жизни, который населению требуется. Одно из наиболее известных выражений этих факторов дает «основное уравнение»:

$$\text{Экологическое воздействие} = \text{численность населения} \times \\ \times [\text{ВВП на душу населения}] \times [(\text{экологическое} \\ \text{воздействие})/(\text{единица ВВП})], \quad (1.1)$$

где ВВП — это валовой внутренний продукт страны, мера промышленной и экономической активности.

Это уравнение традиционно называлось IPAT (*Influence = Population × Affluence × Technology*, Воздействие = Численность населения × Изобилие × Технология). Давайте рассмотрим все три члена этого уравнения и их возможные изменения во времени.

Как показывает рис. 1.4, численность населения Земли быстро растет (более детальное отображение современного этапа развития — на рис. 1.3). Для конкретного географического ре-

гиона (города, страны, континента) скорость изменения численности населения определяется уравнением

$$R = [R_b - R_d] + [R_i - R_e], \quad (1.2)$$

где нижние индексы обозначают соответственно рождение, смерть, иммиграцию и эмиграцию.

Доминировать в этом равенстве могут различные факторы в периоды высокого уровня рождаемости, войн, увеличенной миграции, бедствий и т.д. Для мира в целом, естественно,  $R_i = R_e = 0$ . При данной скорости изменения численность населения в будущем может быть предсказана с помощью формулы

$$P = P_0 e^{Rt}, \quad (1.3)$$

где  $P_0$  — текущая численность населения,  $t$  — число лет прогноза,  $R$  выражена дробью.

Если  $R$  постоянно в далеком будущем, уравнение предсказывает бесконечную численность населения. Такой сценарий, очевидно, невозможен; в определенный момент в будущем  $R$  будет стремиться к нулю или станет отрицательным, и тогда рост населения будет соответствующим образом скорректирован.

На практике демографы предсказывают изменения  $R$  на основе возрастной структуры населения, культурной эволюции и других факторов. Страны, естественно, различаются, и время и интенсивность возможного пика численности населения земли остаются довольно неопределенными. Однако даже при наиболее умеренном сценарии ожидается численность населения, существенно превышающая нынешнюю.

Второй член в равенстве (1.1), ВВП на душу населения, существенно различается по различным странам и регионам в соответствии с глобальными и локальными экономическими условиями, стадиями исторического и технологического развития, факторами, связанными с деятельностью государств, погодой и т.д. Общая тенденция, однако, положительна (табл. 1.1). Эта таблица связана со стремлениями людей к лучшей жизни. Хотя ВВП и качество жизни могут быть и не связаны однозначно, можно ожидать продолжения роста ВВП, в особенности в развивающихся странах.

Третий член в «основном уравнении», степень воздействия на окружающую среду на единицу ВВП, представляет собой степень, в которой технология способна обеспечить развитие без серьезных экологических последствий, и степень, в которой эта технология используется. Типичная закономерность, характерная для стран, участвовавших в промышленной революции XVIII и XIX вв., показана на рис. 1.5. Абсцисса может быть разделена на три участка: (1) неограниченная промышленная революция, во время которой темпы использования ресурсов и отходов очень быстро росли; (2) период немедленных восстановительных действий, когда обратились к вопиющим примерам такого излишества; и (3) период более длительной перспективы (еще не полностью заверченный), когда существует надежда, что воздействия на окружающую среду станут минимальными при достаточно высоком качестве жизни.

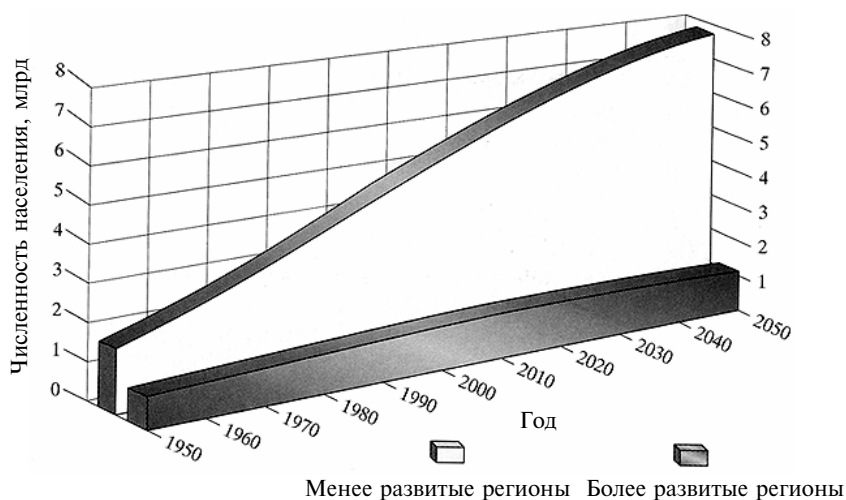


Рис. 1.4

Исторический и прогнозируемый рост численности населения в менее и более развитых регионах, 1950—2050 гг. (*World Population Prospects: The 1998 Revision*. New York: United Nations Population Division, 1999.)

ТАБЛИЦА 1.1 Рост реального дохода на душу населения в развитых и развивающихся странах, 1960—2000 гг.\*

Группа стран	1960–1970	1970–1980	1980–1990	1990–2000
Развитые страны	4,1	2,4	2,4	2,1
Субэкваториальная Африка	0,6	0,9	–0,9	0,3
Восточная Азия	3,6	4,6	6,3	5,7
Латинская Америка	2,5	3,1	–0,5	2,2
Восточная Европа	5,2	5,4	0,9	16
Развивающиеся страны	3,9	3,7	2,2	3,6

\*Данные показывают ежегодные процентные изменения; для развивающихся стран значения взвешены по численности населения. Значения для 1990—2000 гг. оценочные. Данные из World Bank, World Development Report 1992, Oxford University Press, Oxford, U.K., 1992.

Хотя основное уравнение следует рассматривать скорее как концептуальное, а не математически строгое, оно может быть использовано для того, чтобы предложить новые цели развивающейся технологии и обществу. Если наша цель — ограничить воздействие человечества на окружающую среду ее современными рамками (и можно высказать доводы в пользу того, что необходимо сделать еще больше), необходимо взглянуть на возможные тенденции изменения всех трех членов уравнения. За следующие полвека первый, как обсуждалось выше, по-видимому, возрастет приблизительно в 1,5 раза. Считается, что второй возрастет за тот же период в 3—5 раз. Соответственно только для поддержания воздействия на окружающую среду на нынешнем уровне третий член равенства должен уменьшиться на 50—90%. Это составляет основу для призывов к снижению воздействия на окружающую среду на единицу экономической активности в «четыре раза» или в «10 раз».

Из тенденций трех членов основного уравнения та, сохранение которой, возможно, имеет наибольшую поддержку, — постепенное улучшение уровня жизни людей, определенное в широком смысле слова. Первый член, рост численности населения, определяется главным образом не технологическими, а социальными аспектами. И хотя различные страны и культуры подходят к решению этой проблемы по-разному, тенденция к повышению здесь явно выражена. Третий член, степень воздействия на окружающую среду на единицу ВВП, — прежде всего величина

технологическая, хотя социальные и экономические проблемы выступают жесткими ограничениями, препятствующими ее существенным изменениям.

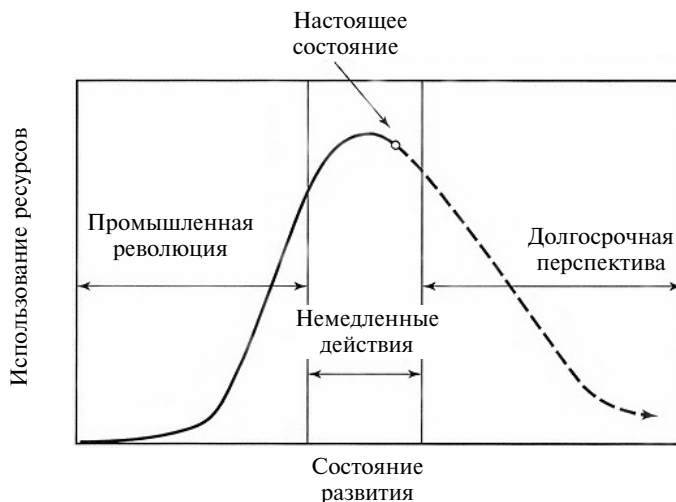


Рис. 1.5

Схематическая диаграмма типичного жизненного цикла взаимосвязи состояния технологического развития общества и его воздействия на окружающую среду

Именно этот член уравнения способен дать наибольшую надежду на переход к устойчивому развитию, в особенности в короткий период, и именно изменения этого члена находятся среди центральных принципов промышленной экологии.

### 1.3 ГЛАВНЫЕ ЦЕЛИ

Хотя внимания заслуживают многие экологические вопросы, несомненно, некоторые из них считаются в целом или даже повсеместно более важными, чем другие. Например, глобальное сокращение биологического разнообразия имеет, очевидно, большее значение, чем выбросы молекул углеводорода через печные трубы, и Монреальский протокол и соглашение Рио демонстрируют, что по крайней мере большинство стран мира считают, что понимание и минимизация проблем разрушения озонового слоя и глобального изменения климата относятся к

вопросам всемирного значения. Если принять, что, разумеется, существуют вопросы, имеющие всеобщую значимость, можно предположить существование нескольких «главных целей» («Grand Objectives»), относящихся к жизни на земле, ее поддержанию и наслаждению ею. Определение этих целей требует общественного согласия, которое возможно или невозможно достичь. Для целей обсуждения этой концепции представляется разумной следующая формулировка главных целей:

Цель  $\Omega_1$ : поддержание существования человеческого рода.

Цель  $\Omega_2$ : поддержание способности к устойчивому развитию и стабильности социальных систем.

Цель  $\Omega_3$ : поддержание разнообразия жизни.

Цель  $\Omega_4$ : поддержание эстетического богатства планеты.

Если согласиться, что эти цели универсальны, то, чтобы достичь их, следует удовлетворить определенные основные общественные требования. В случае  $\Omega_1$  — это минимизация токсичности окружающей среды и обеспечение основных потребностей: в еде, воде и крове. Для  $\Omega_2$  требования заключаются в надежном снабжении энергией, доступности подходящих материальных ресурсов и существовании эффективных политических структур. Для  $\Omega_3$  необходимо поддерживать должное количество природных территорий и максимизировать биологическое разнообразие в пострадавших областях, например избегая монокультурной растительности. Возмущения, вызванные быстрыми изменениями основных природных систем, таких, как климат или океаническая циркуляция, также должны рассматриваться в рамках этой цели.  $\Omega_4$  требует управления отходами различных типов: минимизации воздействий, вызывающих смог; предотвращения захоронения отходов и другой деятельности, приводящей к деградации видимого мира; стимулирования сельского хозяйства и сельскохозяйственных технологий, которые позволяют избегать чрезмерного использования земли и эрозии, и сохранения находящейся в общественной собственности неразработанной земли (табл. 1.2).

$\Omega$ -схема служит необходимой предпосылкой к определению того, какая деятельность общества была бы желательной, но эта схема не гарантирует прогресса в достижении упомянутых целей, в особенности если предполагается согласие в обществе. Такой прогресс достигается тогда, когда желательные действия

общества в рамках схемы повторяются снова и снова. В индустриализованном обществе в основе таких действий лежат решения, принимаемые разработчиками продукта и инженерами производства. Таким образом, технологические рекомендации, приспосабливаемые главными целями, являются средством, с помощью которого могут быть приняты предпочтительные решения.

ТАБЛИЦА 1.2 Связь экологических проблем с главными целями\*

Цель	Экологическая проблема
$\Omega_1$ : Поддержание существования человеческого рода	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Глобальное изменение климата</li><li>2. Ущерб организму человека</li><li>3. Доступность и качество воды</li><li>4. Истощение ресурсов: ископаемое топливо</li><li>5. Радионуклиды</li></ol>
$\Omega_2$ : Устойчивое развитие	<ol style="list-style-type: none"><li>3. Доступность и качество воды</li><li>4. Истощение ресурсов: ископаемое топливо</li><li>6. Истощение ресурсов: неископаемое топливо</li><li>7. Переполнение полигонов захоронения отходов</li></ol>
$\Omega_3$ : Биологическое разнообразие	<ol style="list-style-type: none"><li>3. Доступность и качество воды</li><li>8. Потеря биологического разнообразия</li><li>9. Разрушение стратосферного озонового слоя</li><li>10. Кислотные осадки</li><li>11. Тепловое загрязнение</li><li>12. Особенности использования земли</li></ol>
$\Omega_4$ : Эстетическое богатство	<ol style="list-style-type: none"><li>13. Смог</li><li>14. Эстетическая деградация</li><li>15. Разливы нефти</li><li>16. Запах</li></ol>

\* Номера в колонке «Экологическая проблема» будут использованы в дальнейшем изложении.

### 1.3.1 СВЯЗЬ ГЛАВНЫХ ЦЕЛЕЙ С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКОЙ

Главные цели, разумеется, слишком общие для разработчика продуктов, который имеет дело с конкретными действиями, связанными с экологическими проблемами. Цели и проблемы без труда могут быть связаны друг с другом (табл. 1.2), но помимо

этого производственные решения часто требуют ранжирования сравнительной важности этих проблем. Это требование фактически возвращает в прошлое, к философии, согласно которой действия общества должны максимизировать благо, и вызывает, в свою очередь, вопрос: как общество определяет наилучшие действия?

В этой связи особенная сложность определения наилучших действий общества заключается в том, что действия общества, связанные с окружающей средой, неизбежно включают дилеммы. Приведем лишь несколько примеров: сохранение болот — или создание рабочих мест, отсутствие выбросов парниковых газов ядерными реакторами — или возможность ядерной катастрофы, сохранение и ремонт одежды — или затраты энергии на ее чистку. Чтобы иметь возможность принимать решения, многие предлагали ввести экономическую оценку природных ресурсов (сырья, видов растений, океанов, и т.д.), чтобы решениями управлял рынок. Эта концепция, хотя потенциально и очень полезная, оказалась сложной для внедрения на практике, и ее сложность усугубляется тем, что научное понимание многих оцениваемых объектов еще само находится в стадии развития и постоянно требует такой оценки.

Как при такой неопределенности можно сгруппировать рационально специфические экологические вопросы, связанные с одной или несколькими главными целями? Начнем с осознания того, что необходимо для устойчивости:

- не использовать возобновимые ресурсы быстрее, чем они самовоспроизводятся;
- не использовать невозобновимые, дефицитные ресурсы быстрее, чем для них могут быть найдены возобновимые заменители;
- не сокращать разнообразие жизни на планете;
- не выбрасывать загрязнения быстрее, чем планета в состоянии их поглотить.

После этого для расстановки приоритетов можно определить относительную значимость отдельных воздействий, рассматривая цели в соответствии со следующими ориентирами:

- пространственным масштабом воздействия (большой масштаб хуже, чем маленький);
- серьезностью и/или инерцией ущерба (высокотоксичные и/или инертные вещества имеют большую важность, чем менее токсичные и/или инертные вещества);



- степень подверженности воздействию (хорошо изолированные вещества менее важны, чем легкоподвижные);
- степень необратимости (легко обратимые изменения вызывают меньшие тревоги, чем долговременные);
- штрафом за ошибку (долгосрочное восстановление имеет большее значение, чем краткосрочное).

Возможно, эти общие критерии слишком антропоцентричны в том виде, как они сформулированы, и, естественно, могут изменяться с развитием науки, но, тем не менее, это разумная точка отсчета для разграничения более и менее важных проблем. С учетом этих критериев и главных целей локальные, региональные и глобальные проблемы, связанные с окружающей средой, можно сгруппировать (табл. 1.3). Точная формулировка и относительное ранжирование этих проблем не столь важны для нашего настоящего анализа; важно то, что большинство видов деятельности индустриального общества, способных приводить к существенным экологическим последствиям, так или иначе связаны с этим списком.

Из семи «острых экологических проблем» три относятся к глобальным по своему характеру и имеют очень долгие периоды потенциального улучшения: глобальное изменение климата, потеря биологического разнообразия и разрушение озонового слоя. Четвертая острая проблема относится к ущербу, наносимому организму человека токсичными, канцерогенными и мутагенными веществами. Пятая — доступность и качество воды, проблема, которая охватывает объемы использования воды, а также сбросы вредных отходов в поверхностные или океанические воды. Шестая — это скорость истощения ископаемых топливных ресурсов, жизненно важных для многих видов человеческой деятельности, по крайней мере в следующем веке. Седьмая связана с использованием земли — фактором, влияющим на многие другие проблемы.

Еще четыре проблемы считаются чрезвычайно важными, но не настолько значимыми, как первые семь. Две из них, кислотные осадки и смог, представляют собой воздействия регионального масштаба, возникающие во многих частях света и тесно связанные со сжиганием ископаемого топлива и другими видами промышленной деятельности. Эстетическая деградация, третья чрезвычайно важная проблема, включает такие вопросы «качества жизни», как видимое разрушение материала скульптур и зданий под действием промышленных газов, которые содержатся в атмо-

сфере, распространение твердых и жидких отходов. Последняя проблема — истощение ресурсов, не относящихся к ископаемому топливу, служит одним из побудительных мотивов рециклирования материалов и минимизации их использования.

Наконец, еще пять проблем оценены как менее важные, чем приведенные в первых двух группах, но они все же стоят того, чтобы уделять им внимание: разливы нефти, радионуклиды, запахи, тепловое загрязнение и истощение емкости полигонов для захоронения отходов. Эти проблемы объединены в одну группу, так как при всей серьезности их воздействия они обычно носят локальный характер или длятся недолго по сравнению с проблемами первых двух групп.

---

ТАБЛИЦА 1.3 Важные экологические проблемы\*

---

Критические экологические проблемы (первостепенной важности)

1. Глобальное изменение климата
2. Ущерб организму людей
3. Доступность и качество воды
4. Истощение ресурсов ископаемого топлива
8. Потеря биологического разнообразия
9. Разрушение стратосферного озонового слоя
12. Особенности использования земли

Чрезвычайно важные экологические проблемы:

6. Истощение ресурсов, не относящихся к ископаемому топливу
10. Выпадение кислотных осадков
12. Смог
13. Эстетическая деградация

Менее важные проблемы

5. Радионуклиды
  7. Сокращение емкости полигонов захоронения отходов
  11. Тепловое загрязнение
  15. Разливы нефти
  16. Запахи
- 

Номера взяты из табл. 1.2. Внутри групп проблем номера будут использоваться при дальнейшем изложении и не отражают порядка важности.

### 1.3.2 ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЕ ДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ

Смягчение влияния деятельности человека на окружающую среду должно складываться, по крайней мере теоретически, в логическую последовательность. Первым в этой цепочке стоит признание экологической проблемы, связанной с одной или более главными целями. Глобальное изменение климата, например, связано с двумя:  $\Omega_1$  и  $\Omega_3$ . Затем, после того как проблема названа, промышленные экологи изучают деятельность общества, которая с ней связана. Глобальное изменение климата вызывает та деятельность (хотя и не только), которая связана с выбросами парниковых газов, в особенности  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и хлорфторуглеродов. Рис. 1.6 иллюстрирует эти связи, а в табл. 1.4. приводится ряд примеров. Идея заключается в том, что деятельность общества от сельского хозяйства к производству, транспортировке и услугам можно оценить по отношению к главным целям, и экологическая оценка продуктов, процессов и оборудования показывает связь между видами деятельности и целями.

Многие виды деятельности технологического общества характеризуются тем, что оказывают воздействие более чем на одну экологическую проблему. Аналогично, большинство экологических проблем связано с широким спектром видов деятельности общества. Эта аналитическая сложность, однако, не умаляет значимости концепции, разрабатываемой в настоящей работе.



Рис. 1.6

Исследование связи важных экологических проблем с видами деятельности

### 1.3.3 ДЕЙСТВИЯ ИНДУСТРИАЛИЗОВАННОГО ОБЩЕСТВА

Заключительный этап структурной оценки процесса, который мы описываем, заключается в том, что для заданных исследуемых видов деятельности аналитики могут сформулировать конкретные рекомендации по улучшению экологических характеристик продуктов, что показано на рис. 1.7.

Таким образом, весь описанный здесь процесс происходит в четыре этапа: (1) определение обществом своих главных целей для жизни на земле; (2) идентификация специалистами круга экологических проблем, связанных с одной или более из этих целей; (3) идентификация технологами и специалистами в области социальных наук видов деятельности общества, связанных с этими проблемами; (4) соответствующая модификация этих видов деятельности. Обратите внимание на то, что реализация четвертого этапа в этой последовательности зависит от определения целей на этапе 1, веры в обоснованность этапа 2, признания корректности атрибуции — на этапе 3, но не обязательно от знания степени воздействия шага 4 на улучшение окружающей среды, т.е., необходимая информация имеет качественный, а не количественный характер. С точки зрения промышленного менеджера или инженера-разработчика продукта важно знать, что, если предпринимается шаг 4, экологические характеристики корпорации будут улучшены по крайней мере в какой-то степени, и, возможно, не менее важно знать, что покупатели и политики будут считать действие позитивным и обдуманым.

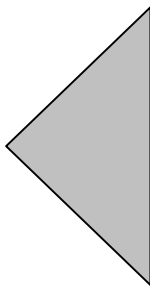
На рис. 1.8 схематически изображены четыре этапа процесса, из которого ясно, что их воздействие на главные цели определяет важность каждой из экологических проблем, каждая экологическая проблема приводит к группе исследуемых видов деятельности, и каждая из групп, в свою очередь, приводит к рекомендациям по разработке продукта. Обратите внимание на то, что каждая из главных целей и большинство экологических проблем связаны с рядом рекомендаций, а не только с одной или двумя, и наоборот, много рекомендаций реагируют более чем на одну экологическую проблему и, возможно, более чем на одну главную цель.

ТАБЛИЦА 1.4 Целенаправленные действия в связи  
со значимыми экологическими проблемами

Экологическая проблема	Анализируемая целенаправленная деятельность
1. Глобальное изменение климата	1.1. Сжигание ископаемого топлива 1.2. Производство цемента 1.3. Выращивание риса 1.4. Добыча угля 1.5. Поголовье жвачных животных 1.6. Переработка отходов 1.7. Сжигание биомассы 1.8. Выбросы хлорфторуглеродов (CFC), HFC, N <sub>2</sub> O
2. Потеря биологического разнообразия	2.1. Потеря мест распространения 2.2. Фрагментация распространения 2.3. Использование гербицидов и пестицидов 2.4. Сбросы токсинов в поверхностные воды 2.5. Сокращение содержания растворенного кислорода в поверхностных водах 2.6. Разливы нефти 2.7. Истощение водных ресурсов 2.8. Промышленное развитие в хрупких экосистемах
3. Разрушение озонового слоя стратосферы	3.1. Выбросы CFC 3.2. Выбросы HCFC 3.3. Выбросы галонов 3.4. Выбросы оксида азота
4. Ущерб организму человека	4.1. Выбросы токсинов в атмосферу 4.2. Выбросы токсинов в воду 4.3. Выбросы канцерогенов в атмосферу 4.4. Выбросы канцерогенов в воду 4.5. Выбросы мутагенов в атмосферу 4.6. Выбросы мутагенов в воду 4.7. Выбросы радиоактивных веществ в атмосферу 4.8. Выбросы радиоактивных веществ в воду 4.9. Захоронение токсинов на полигонах 4.10. Захоронение канцерогенов на полигонах 4.11. Захоронение мутагенов на полигонах 4.12. Захоронение радиоактивных веществ на полигонах 4.13. Истощение водных ресурсов
5. Доступность и качество воды	5.1. Использование гербицидов и пестицидов 5.2. Использование сельскохозяйственных удобрений

- 5.3. Сброс токсинов в поверхностные воды
  - 5.4. Сброс канцерогенов в поверхностные воды
  - 5.5. Сброс мутагенов в поверхностные воды
  - 5.6. Сброс радиоактивных веществ в поверхностные воды
  - 5.7. Сброс токсинов в подземные воды
  - 5.8. Сброс канцерогенов в подземные воды
  - 5.9. Сброс мутагенов в подземные воды
  - 5.10. Сброс радиоактивных веществ в подземные воды
  - 5.11. Истощение водных ресурсов
6. Истощение ресурсов: ископаемое топливо
- 6.1. Использование ископаемого топлива для производства энергии
  - 6.2. Использование ископаемого топлива как сырья
7. Особенности использования земли
- 7.1. Развитие ненарушенных земель
  - 7.2. Выбросы, воздействующие на чувствительные экосистемы
  - 7.3. Восстановление нарушенных земель
- 

Использование энергии



- Использование модульного проектирования продукта
- Разработка продуктов класса «энергетическая звезда»
- Использование рециклированных материалов
- Использование оборудования с низким энергопотреблением

Рис. 1.7

Связь рассматриваемых видов деятельности и рекомендаций промышленной экологии по улучшению их воздействия на существенные экологические проблемы

Как показано в низу диаграммы, взаимодействие между главными целями и рекомендациями обеспечивает логическую взаимосвязь между общественным согласием, экологической наукой и промышленной экологией.

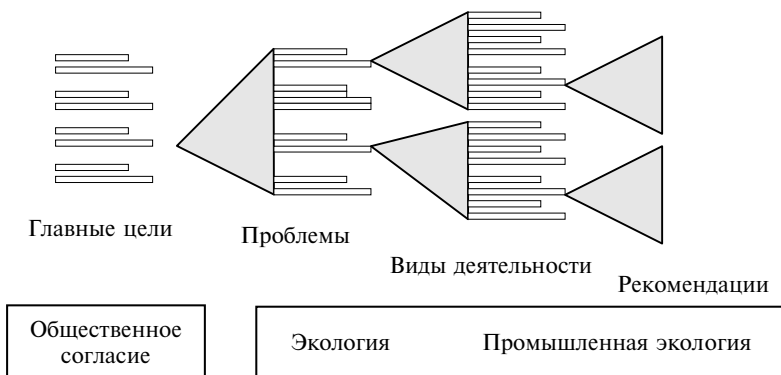


Рис. 1.8

Схематическое представление концептуальной последовательности в оценке жизненного цикла. Каждая из четырех больших целей связана с рядом проблем, таких, как изменение климата (каждая проблема показана горизонтальным прямоугольником). Аналогично, каждая из проблем связана с рядом видов деятельности, таких, как сжигание топлива (горизонтальные прямоугольники обозначают различные виды деятельности). И каждый вид деятельности связан с рядом рекомендаций, таких, как более эффективное сжигание. Как отмечено в низу диаграммы, различные специализированные области имеют дело с разными стадиями последовательности

## 1.4 ОБРАЩАЯСЬ К ПРОБЛЕМЕ

Двадцатый век был периодом необыкновенного прогресса, достигнутого, в частности, потому, что игнорировались возможные последствия тех способов, которыми этот прогресс был достигнут. Сочетание неадекватно продуманных технологических подходов с быстро растущей численностью населения и растущей культурой потребления сейчас вызывает стресс, очевидный для всех.

В обеспечении потребности трансформировать взаимодействие «технология — общество — окружающая среда» находятся роли для многих игроков. Специалисты в области общественных наук должны понимать модели потребления и то, как они могут эволюционировать и модифицироваться. Экологи и материаловеды должны понимать пределы, установленные планетой с ограниченными ресурсами и ограниченной способностью ассимилировать промышленные выбросы. Технологи должны разрабатывать более экологичные подходы к проектированию и произ-

водству. Промышленники должны понимать все эти схемы действий и разрабатывать способы интегрирования этих концепций в рамках современных корпоративных структур. Политики должны обеспечивать надлежащую комбинацию нормативных актов и стимулов, чтобы содействовать долгосрочному здоровью нашей планеты, а не краткосрочным «починкам».

Это серьезные задачи. Это задачи, которым посвящена наша книга. Мы не можем рассматривать все их очень подробно, да и все они достаточно разработаны, чтобы дать такую возможность, даже если бы мы этого хотели. Тем не менее мы видим много подходов, которые направят нас в нужную сторону. Время начинать.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Brooks, H., The typology of surprises in technology, institutions, and development, in *Sustainable Development of the Biosphere*, W.C. Clark and R.E. Munn, eds., Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 325–348, 1986.

Chertow, M., The IPAT equation and its variants: Changing views of technology and environmental impacts, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (4) 13–29, 2001.

Cohen, J.E. *How Many People Can the Earth Support?* New York: W.W. Norton, 1995.

Graedel, T.E., The grand objectives: A framework for prioritized grouping of environmental concerns in life-cycle assessment, *Journal of Industrial Ecology*, 1 (2), 51–64, 1997.

Hardin, G., The tragedy of the commons, *Science*, 162, 1243–1248, 1968.

Robey, B., S.O. Rutstein, and L. Morris, The fertility decline in developing countries, *Scientific American*, 269 (6), 60–67, 1993.

Stern, D.I., Progress on the environmental Kuznetz curve?, *Environment and Development Economics*, 3, 173–196, 1998.

Von Weizsacker, E., A.B. Lovins, and L.H. Lovins, *Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use*, London: Earthscan Publications, 1997.

World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1987.

## УПРАЖНЕНИЯ

1.1 В 1983 г. уровень рождаемости в Ирландии составил 19,0 чел. на 1000 в год; уровень смертности, иммиграции и эмиграции (в тех же единицах) составил 9,3, 2,7 и 11,5 соответственно. Вычислите общую скорость изменения численности населения.

1.2 Рассчитайте численность населения Ирландии в 2020 г. при условии, что скорость изменения численности населения в Ирландии стабильна с 1990 по 2005 г. и равна скорости, полученной в задаче 1.1 (в 1990 численность населения составляла 3,72 млн).



- 1.3 Повторите расчеты предыдущей задачи при условии стабилизации ситуации в Северной Ирландии в 2005 г. и падении уровня эмиграции на 50%.
- 1.4 Используя основное уравнение, пункт «единицы измерения» в Приложении В и данные, приведенные ниже, вычислите ВВП на душу населения и эквивалент выбросов  $\text{CO}_2$  на эквивалент ВВП в долларах США для каждой страны, указанной в таблице.

Данные основного уравнения для пяти стран, 1990 г.

Страна	Численность населения,		ВВП*	% глобальных выбросов $\text{CO}_2$ **
	млн			
Бразилия	150		434700	3,93
Китай	1134		419500	9,12
Индия	853		262400	4,18
Нигерия	109		27500	1,14
США	250		5 200 800	17,81

\* Эквивалент млн долл. США.

\*\* Процент общих глобальных выбросов парниковых газов, выраженных в эквиваленте единиц  $\text{CO}_2$  ( $\text{ECO}_2$ ).  $\text{ECO}_2$  вычисляется с учетом эффектов нагревания газов и времени жизни для корректировки выбросов некоторых газов, поглощающих инфракрасное излучение. Глобальный поток  $\text{ECO}_2$  в 1990 г. составил 13,15 млрд т.

Данные для этой таблицы взяты в основном из *The 1993 Information Please Environmental Almanac*, составленного World Resources Institute, Boston, MA: Houghton Mifflin, 1993.

- 1.5 Тенденции изменения численности населения, ВВП и технологии периодически оцениваются многими институтами. Используя типовые прогнозы тенденций, приведенных ниже, рассчитайте эквивалент  $\text{CO}_2$ , ожидаемый в 2010 и 2025 гг. для пяти стран. По результатам расчета и данным по 1990 г. (задача 1.4.) постройте график зависимости  $\text{ECO}_2$  от времени. Прокомментируйте результаты.

Прогнозные данные основного уравнения для пяти стран

Страна	Численность населения, млн		Рост ВВП, % в год		Уменьшение $\text{ECO}_2/\text{ВВП}$ , % в год
	2000	2025	1990–2000	2000–2025	
	Бразилия	175	240	3,6	
Китай	1290	1600	5,5	4,0	1,0
Индия	990	1425	4,7	3,7	0,2
Нигерия	148	250	3,2	2,4	0,1
США	270	30	2,4	1,7	0,7

Данные для этой таблицы взяты из J.T. Houghton, B.A. Callander, and S.K. Varney, *Climate Change 1992*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1992.

## Г Л А В А 2

# Концепция промышленной ЭКОЛОГИИ

### 2.1 ОТ СИЮМИНУТНОГО МЫШЛЕНИЯ К ПЕРСПЕКТИВНОМУ

Со времен Промышленной революции деятельность фирм, больших и маленьких, определяла большую долю взаимодействия человечества с окружающей средой. Такие взаимодействия, однако, традиционно находились вне проблем основного значения для лиц, принимающих корпоративные решения. Воздействие технологии на природу и в особенности потенциальные масштабы такого воздействия по всему спектру промышленной деятельности были недооценены миром бизнеса.

Однако ни одна фирма не существует в вакууме. Каждый вид промышленной деятельности связан с тысячами других трансакций и видов деятельности и их воздействием на окружающую среду. Крупная фирма, производящая высокотехнологичные продукты, имеет десятки тысяч поставщиков по всему миру, изменяющихся ежедневно. Фирма может выпустить и предложить на продажу сотни и тысячи отдельных продуктов бесчисленному множеству покупателей, каждому с учетом их индивидуальных потребностей и культурных предпочтений. Каждый покупатель, в свою очередь, может использовать продукт абсолютно по-разному; они могут жить в областях с сильно различающимися экологическими характеристиками, различные аспекты использования и обслуживания продукта могут быть источником потенциального воздействия на окружающую среду (например, использованное автомобильное масло). Когда продукт выбрасывают (заканчивается его жизненный цикл), он может оказаться практически в любой стране, на высокотехнологичном полигоне, мусороперерабатывающем заводе, у дороги или в реке, которая обеспечивает местных жителей питьевой водой.

Как в таких сложных условиях промышленность подошла к своим взаимоотношениям с внешним миром? Потребности по-

купателей были удовлетворены всегда. Промышленность, однако, оказалась менее сведущей в определении некоторых последствий, в особенности долгосрочных, тех способов, которые она использует для удовлетворения потребностей. Примеры некоторых из этих взаимодействий были собраны д-ром Джеймсом Веем (James Wei) из Princeton University; эта информация приведена в табл. 2.1. Таблица отражает сложности, созданные для общества в мире, в котором промышленные операции в сущности воспринимались как не связанные с более широким миром.

Важно отметить, что взаимодействия из табл. 2.1 не были результатом того, что промышленность пренебрегала внешним миром. Некоторые из решений были фактически серьезными улучшениями той практики, которую они заменили, и их возможные последствия нельзя было предусмотреть с какой-либо точностью. Чего не доставало, так это любых структурированных попыток соотнести технику удовлетворения нужд покупателей с возможными экологическими последствиями. Хотя такие попытки не гарантируют, что промышленная деятельность не будет оказывать никаких вредных воздействий, они могут помочь избежать наиболее серьезных воздействий и привести к постепенному улучшению воздействий, которые сейчас могут быть хорошо спрогнозированы. Как такие попытки осуществляются наилучшим образом?

Подход к взаимодействиям промышленности и окружающей среды, описанный в этой книге и направленный на оценку и минимизацию столкновения, называется *промышленной экологией*. Промышленная экология — это частично технологическая дисциплина. В приложении к производству она включает разработку промышленных процессов, продуктов и услуг с двойственной позиции — конкурентоспособности продукта и экологических проблем. Промышленную экологию также частично можно считать и социологической. В этом аспекте она признает, что человеческая культура, индивидуальный выбор и общественные институты играют основные роли в определении взаимодействий между нашим технологическим обществом и окружающей средой.

В последующих главах мы дадим объемлющее определение промышленной экологии с использованием биологических аналогий для описания перспективы точки зрения промышленной

экологии на производственную систему. Сущность промышленной экологии можно, однако, выразить кратко:

Промышленная экология — это средство, позволяющее человечеству обдуманно и рационально достигать и поддерживать устойчивость, заданную продолжающейся экономической, культурной и технологической эволюцией. Концепция требует, чтобы производственная система рассматривалась не в отрыве от окружающих ее систем, но во взаимодействии с ними. Это системный взгляд, в рамках которого стараются оптимизировать общий материальный цикл от первичного сырья до законченного материала, до комплектующих, до продукта, до использованного продукта и до конечной утилизации. Факторы, которые необходимо оптимизировать, включают ресурсы, энергию и капитал.

В этом определении акцент на *обдуманно* и *рационально* отличает путь промышленной экологии от незапланированных, быстрых и, возможно, довольно дорогих и разрушительных альтернатив. Кроме того, определение показывает, что практика промышленной экологии обладает потенциалом для поддержания устойчивого мира с высоким качеством жизни для всех в противоположность, например, альтернативе, когда уровень численности населения контролируется голодом.

---

ТАБЛИЦА 2.1 Соотнесение сегодняшних экологических проблем и ответов промышленности на потребности вчерашнего дня

Потребности вчерашнего дня	Решения вчерашнего дня	Сегодняшняя проблема
Нетоксичные, негорючие охлаждающие вещества	Хлорфторуглероды	Озоновая дыра
Стук автомобильного двигателя	Тетраэтил свинца	Свинец в атмосфере и в почве
Саранча, малярия	ДДТ	Вредное воздействие на птиц, млекопитающих
Удобрения для производства продуктов питания	Азотные и фосфорные удобрения	Эвтрофикация озер и устьев рек

---

Практики в области промышленной экологии интерпретируют слово «промышленность» очень широко: предполагается, что она представляет собой сумму человеческой деятельности, включая добычу полезных ископаемых, производство, сельское

хозяйство, строительство, производство и использование энергии, транспорт, использование продуктов покупателями и поставщиками услуг и захоронение отходов. Промышленная экология не ограничивается рамками заводских стен, но охватывает все воздействия на планете, возникающие в результате присутствия и деятельности человека. Таким образом, она охватывает использование обществом ресурсов всех типов.

Промышленная экология может концентрироваться на изучении отдельных продуктов и их экологических воздействий на разных стадиях их жизненных циклов, но возникает дополнительный объект этого анализа — производственный комплекс, где производятся продукты. В таком комплексе сырье, полуфабрикаты и возможно, комплектующие, произведенные в другом месте, составляют входные потоки. На выходе потоки наряду с энергией создают сами продукты, выбросы и сбросы в почву, воду и воздух и отходы энергии, преобразованные в тепло и шумы. Подход промышленной экологии к такому комплексу рассматривает бюджеты и циклы входных и выходных потоков и пытается найти пути, в которых меньшая доля отходов теряется, а большая — сохраняется и рециклируется в рамках этих же или других производственных комплексов. Ключевые концепции включают сохранение массы (необходимо учитывать все вещество в системе), сохранение энергии (необходимо учитывать всю энергию в системе) и «технологическую ось времени» — понимание того, что в то время как общество становится более технологически развитым, оно опирается на свою старую технологическую базу и поэтому не может поддерживаться или улучшаться без сильной опоры на технологию.

Одна из наиболее важных концепций промышленной экологии заключается в том, что, как и биологическая система, она отказывается от концепции отходов. Словари определяют отходы как бесполезный или потерявший свою ценность материал. В природе, однако, ничего не выбрасывается навсегда; различным образом все материалы используются повторно, обычно с большой эффективностью. Эти закономерности сформировались в природных системах потому, что добыча материалов из их запасов дорога по затраченным энергии и ресурсам и, таким образом, ее по возможности следует избегать. В нашем индустриальном мире выбрасывать материалы, добытые из геосистемы

с большими затратами, также, вообще говоря, неблагоразумно. Следовательно, материалы и продукты, которые стали ненужными, должны называться *остатками*, а не *отходами* (в англ. языке слово waste означает и отходы, и потери, и расточительство — *прим. перев.*), и нужно признать, что отходы — это действительно просто остатки, которые наша экономика пока не научилась эффективно использовать. Мы будем иногда использовать термин «отходы» в этой книге, если контекст указывает на материал, который выбрасывается или был выброшен, но мы поддерживаем использование термина «остатки» или, возможно, даже менее уничижительного, «использованные ресурсы», таким образом привлекая внимание к инженерным характеристикам и общественной ценности, содержащимся в ненужных продуктах всех типов и размеров. Делая это, мы признаем, что закон энтропии запрещает полное повторное использование без потерь, но такой взгляд более полезен в установлении этой важной перспективы, чем научная строгость.

Полное рассмотрение промышленной экологии должно было бы включать всю сферу экономической деятельности: добычу полезных ископаемых, сельское хозяйство, лесное хозяйство, производство, сектор услуг и потребления. Однако, очевидно, невозможно охватить всю сферу промышленной экологии в одной книге. Поэтому в большей части этой книги мы ограничиваемся производственной деятельностью, хотя в некоторых заключительных главах тема рассматривается более широко.

## 2.2 СВЯЗЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ И СОЦИАЛЬНЫМИ НАУКАМИ

Противоположность между традиционными экологическими подходами к промышленной деятельности и подходами, предлагаемыми промышленной экологией, может быть продемонстрирована несколькими временными горизонтами и типами деятельности (табл. 2.2). Первая тема, восстановление, имеет дело с такими процессами, как устранение токсичных соединений из почвы. Она принимает во внимание ошибки прошлого, очень дорого стоит и ничего не добавляет к эффективности промышленности. Вторая тема, переработка, хранение и захоронение, имеет дело с переработкой остатков сегодняшних производств

венных процессов. Издержки включены в цену ведения бизнеса, но слабо или вообще не влияют на успех корпорации, кроме предотвращения нарушений законодательства и судебных исков. Ни один из этих видов деятельности не относится к промышленной экологии. В противоположность этому промышленная экология связана с деятельностью, которая смотрит в будущее и старается направить промышленность к экономически эффективным процессам, способным сделать взаимоотношения с окружающей средой более гуманными и оптимизировать весь производственный цикл ко всеобщему благу (и, мы полагаем, к финансовому благу корпорации). Руководители корпораций знакомы с требованиями к взаимодействиям промышленности и окружающей среды прошлого и настоящего. Задача промышленного эколога — показать, что рассмотрение этих взаимодействий с точки зрения будущего относится к активам корпорации, а не к ее обязательствам.

Мы начали гл. 1 с обсуждения «Трагедии пастбищ», в которой множество индивидуальных действий, очевидно, выгодных в краткосрочной перспективе для принимающих эти решения, в конце концов переполняет общественный ресурс и приводит к трагедии для всех. Концепция, первоначально сформулированная для описания таких локальных общественных ресурсов, как общественные земли для выпаса скота, была распространена на глобальные ресурсы с такими открытиями, как антарктическая озоновая дыра. Промышленные процессы и продукты взаимодействуют со многими общественными структурами, и инженеры-проектировщики должны интерпретировать концепцию общественных ресурсов очень широко. Концепция, конечно, включает в себя местные объекты, такие, как городской воздух, местные водные бассейны и естественные среды обитания. Сюда также включаются региональные ресурсы, например подземные воды и выпадение осадков (и возможное изменение их химического состава). Глобальные общественные ресурсы ассоциируются с другими системами: глубокими океанами (могут ли разливы нефти и захоронение отходов существенно испортить этот ресурс, или действия человечества умеренны?), Антарктическим континентом (50 лет международной научной деятельности без экологического управления оставили сомнительное наследство) и, разумеется, атмосферой (и ее озоном и климатом).

На практике каждый продукт или процесс взаимодействует по крайней мере с одной системой общественных ресурсов или, возможно, с несколькими, хрупкими и устойчивыми, отслеживаемыми и игнорируемыми, близкими и далекими. Анализ промышленного проектирования может дать очень отличающиеся результаты, если тот же продукт или процесс будет вместо завода использоваться под водой, в Арктике или на космическом корабле. Точно так же, как промышленная активность распространяется на все стадии жизненного цикла, она распространяется и на все системы общественных ресурсов, на которые она может повлиять. Вкратце мы определяем *общественные ресурсы (the commons)* как все элементы окружающего мира, где может ощущаться человеческое воздействие.

ТАБЛИЦА 2.2 Аспекты взаимодействий промышленности —  
окружающая среда

Деятельность	Время	Фокус	Цель	Корпоративный взгляд
Восстановление	Прошое	Локальный объект	Сокращение риска для человека	Обзорный
Переработка, захо- ронение	Настоящее	Локальный объект	Сокращение риска для человека	Обзорный
Промышленная экология	Будущее	Глобальный	Устойчивость	Стратегический

## 2.3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Как и в любой области, в промышленной экологии существуют свои ключевые вопросы. В отличие от биологической экологии мы сосредоточили интересы не на функционировании технологической системы как таковой, а на взаимодействиях и вовлеченности промышленной экосистемы в природные системы нашей планеты. Мы концентрируемся на одном виде (человеке) и его взаимоотношениях с окружающей средой. Из этой общей схемы можно предложить набор ключевых исследовательских вопросов для промышленной экологии.

1. Как функционируют современные технологические циклы и каково их воздействие на окружающую среду?

1.1. Как связаны секторы промышленности и каковы соответствующие экологические возможности и угрозы?



- 1.2. Можно ли организовать циклы для технологических материалов, используемых в современном обществе?
- 1.3. Какие элементарные циклы, сдерживаемые технологией, ограничены воздействиями на окружающую среду?
- 1.4. Как технологии могли бы изменить проектирование продуктов и использование ресурсов?
- 1.5. Насколько быстро могут развиваться экологически предпочтительные технологические системы?
2. Как функционируют ресурсно-ориентированные аспекты культурных систем и каковы их воздействия на окружающую среду?
  - 2.1. Как корпорации управляют своими взаимоотношениями с окружающей средой и как мог бы развиваться корпоративный экологический менеджмент?
  - 2.2. Как может быть изменено влияние культуры/потребления на материальные циклы?
3. Каково будущее взаимосвязи технологии с окружающей средой?
  - 3.1. Какие сценарии развития на несколько следующих десятилетий образуют правдоподобные картины будущего технологий и их взаимодействия с окружающей средой?
  - 3.2. Как изменения экологических систем (климата, воды и т.д.) воздействуют на технологические системы?
4. Как можно действенно определить и рассматривать устойчивость в противоположность экологически ответственной деятельности?

Эти ключевые вопросы образуют интеллектуальную основу обсуждений на страницах нашей книги.

## 2.4 РЕЗЮМЕ

Эта книга, посвященная приведению в систему и объяснению способов преобразования нашего технологического общества от состояния крайне неустойчивой системы ко все более устойчивой, включает пять частей (рис. 2.1). Часть I, Введение в проблематику, содержит несколько глав. Эти описания нацелены на

определение предметных границ изучением тенденций и особенностей промышленного развития и воздействия на окружающую среду, в особенности там, где связи между промышленностью и окружающей средой видны непосредственно.

В части II рассматриваются некоторые темы, образующие рамки, в которых должна действовать промышленная экология. Отдельные главы посвящены биологическим системам, ресурсам Земли, аспектам культуры и социальных наук. Уместность этих тем демонстрирует, что промышленная экология, развиваясь на технологической основе, имеет серьезные междисциплинарные характеристики.

Концепция промышленной экологии и рамки, в которых она действует, приводят к двум дополняющим друг друга аспектам. Один из них вполне практический, сконцентрированный на способах, методах, которыми могут быть оценены экологические характеристики продуктов, процессах и услугах и на том, как проектирование может способствовать решению экологических проблем на протяжении жизненного цикла продуктов и процессов. Этому посвящена часть III.

Часть IV посвящена не проектировщику, а корпоративному менеджеру, в ней даны советы по «озеленению» корпорации.

Часть V — заключительная часть книги — имеет гораздо более широкий охват: в ней рассматриваются корпорации и общества как системы и делается попытка понять, как человечество может обратиться к решению проблемы экологических и ресурсных ограничений и как оно может начать переход к более устойчивому развитию. Таким образом, практическая часть книги дает совет по улучшению результатов нашей деятельности, связанных с окружающей средой, в то время как системный подход помогает определить в широком смысле, в каком направлении нам следует идти.

Структуру этой книги также можно рассматривать с точки зрения основных исследовательских вопросов, поставленных ранее в этой главе. Мы приводим эти вопросы в табл. 2.3 с указанием глав, в которых они обсуждаются, и инструментов промышленной экологии, используемых для их решения. Это богатый инструментарий, если учесть, что он находится сегодня на раннем этапе своего развития. Несмотря на это ограничение специалисты по промышленной экологии, по-видимому, будут основными участниками создания более устойчивого общества, чем то, в котором мы живем сейчас.



Рис. 2.1

Структура *Промышленной экологии*. Каждый блок отсылает читателя к указанным главам книги

ТАБЛИЦА 2.3 Ключевые вопросы промышленной экологии и соответствующие инструменты, которыми можно оказывать на них влияние

Ключевой вопрос	Ссылка	Инструменты промышленной экологии
1.1	Книга GIF*	Планы промышленных секторов
1.2	5, 23	Анализ материальных потоков, анализ потоков веществ
1.3	3, 4	Большие пищевые циклы, токсикологическая оценка
1.4	8—17	Проектирование в соответствии с требованиями окружающей среды, оценка жизненного цикла
1.5	21, 22, 24, 25	Исследования секторов и инфраструктуры
2.1	18—21	Общий экологический менеджмент, экологические показатели
2.2	6, 7	Анализ потребления
3.1	24	Разработка сценариев
3.2	24, 25	Глобальные модели климата
4	24, 25	Анализ систем

\**Greening the Industrial Facility* («Озеленение» промышленного предприятия), Т.Е. Graedel and J. Howard-Grenville, in preparation, 2003.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Ausubel, J.H., and H.E. Sladovich, eds., *Technology and Environment*, Washington, DC: National Academy Press, 1989.

Ayres, R.U., and L.W. Ayres, *A Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, U.K.: Edward Elgar, 2002.

Clark, W.C., and R.E. Munn, eds., *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1986.

Lifset, R.J., and T.E. Graedel, *Industrial Ecology: Goals and definitions*, in *A Handbook of Industrial Ecology*, Ayres, R.U., and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar, Publishers, 3–15, 2002.

*Scientific American* special issues: «Managing Planet Earth,» Vol. 261, No.3, September, 1989; and “Energy for Planet Earth”, Vol. 263, No.3, September, 1990.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 2.1** Выберите комнату в своей квартире, общежитии, доме. Проведите инвентаризацию физических объектов или «артефактов» в комнате. Разделите их на четыре категории: (1) жизненно необходимые; (2) функция, которую предмет выполняет, необходима, но сам предмет оказывает чрезмерное воздействие на окружающую среду (например, одежда может быть необходима, но меховая шуба или десять пар обуви — нет); (3) предмет не относится к жизненно необходимым, но необходим в рамках данной культуры; и (4) предмет не относится ни к физически, ни к культурно необходимым, хотя, возможно, он и желателен (иначе бы его здесь не было). Можете ли вы экстраполировать эти результаты на свою модель потребления? Основываясь на этих результатах, определите, какой процент вашего потребления представляет чрезмерное воздействие на окружающую среду.
- 2.2** Технология приносит блага, такие, как пища, тепло в домах, лекарства. Она также приносит потенциальные проблемы: загрязнение воздуха, разрушение экосистем. Рассматривая ваши личные взаимодействия с продуктами и технологией (см. упражнение 2.1) и взаимодействия других, определите, технология какого рода и масштаба подходит Земле в XXI в.? Какая это должна быть технология?
- 2.3** Опишите своими словами устойчивый мир. Включите описание образа жизни, который вы бы ожидали в таком мире, а также оценки того, как могла бы поддерживаться высокая численность населения в таком мире. Какие данные и анализ вам были бы необходимы, чтобы быть уверенным в устойчивости того, что вы видите?

## Г Л А В А 3

# Технологические переменны и изменяющийся риск

### 3.1 ИСТОРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Хотя многие люди думают о технологии как о физических артефактах, она представляет собой гораздо более широкую концепцию, особенно в контексте промышленной экологии. Ее нельзя просто вырвать из экономического, культурного и социального контекста, в рамках которого она развивается, как нельзя отделить технологию от природных систем, с которыми она связана. Технология — средство, с помощью которого люди и сообщества людей взаимодействуют с физическим, химическим и биологическим миром.

Именно с развитием сельского хозяйства люди начали посредством технологии оказывать существенное воздействие на свое окружение. Миграция людей распространила технологию на обширных территориях мира, воздействуя на локальные экосистемы. Древние цивилизации также вызвали заметное увеличение содержания углерода в атмосфере: например, один его скачок был связан с уничтожением лесов в Европе и Северной Африке с XI по XIII в. Гренландский лед отражает процессы производства меди во времена династии Сунг в Древнем Китае приблизительно в 1000 г. до н.э., а встречающиеся высокие концентрации свинца в осадках озер Швеции отражают производство этого металла в Греции, Риме и средневековой Европе многими столетиями ранее.

Но настоящие изменения особенностей взаимодействия человека, технологий и окружающей среды относятся к промышленной революции и сопутствовавшим ей демографическим и экономическим сдвигам. Люди перемещались из аграрных сообществ в городские центры — и экономика менялась с движением от сельскохозяйственной деятельности к промышленному производству. Глобальное развитие транспорта и связи значительно усилило экономическую активность, и промышленная революция создала ресурсную основу для роста населения. О

результатах свидетельствует рост валового внутреннего продукта (ВВП) в мире; если взять за точку отсчета 1500 г., к 1820 г. ВВП увеличился почти в 3 раза, к 1900 — в 8,2 раза, к 1950) — более чем в 22 раза и к 1998 г. вырос более чем в 135 раз. С той же скоростью росло воздействие человека на природные системы (рис. 3.1).

Вне зависимости от используемой технологии в технологической эволюции наблюдается удивительная закономерность. Во всех масштабах технология имеет тенденцию обычной закономерности логистического развития: она начинается с исследований, изобретения и инновации, экспоненциально растет по мере внедрения на рынок, имеет максимум в точке насыщения рынка и обычно замещается более современной технологией, в то время как первая устаревает (рис. 3.2). Эта общая закономерность, хотя и на разных интервалах времени, характерна для электричества, цветного телевидения, кондиционирования воздуха, компьютеров и многого другого. (рис. 3.3).

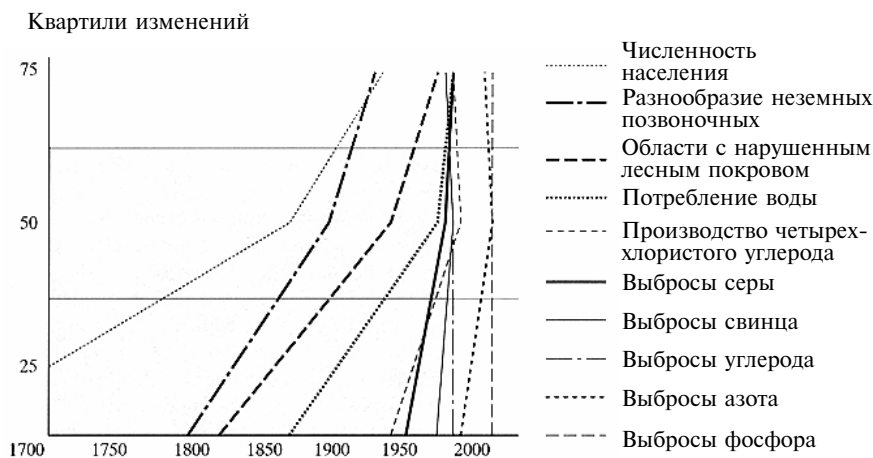


Рис. 3.1

Тенденции антропоцентрической трансформации окружающей среды, усиленные в период промышленной революции. Этот рисунок показывает время, необходимое для достижения второй и третьей квартили изменения по ряду параметров: эти изменения обусловлены рядом технологических трансформаций (Адаптировано по R.W. Kates, B.L. Turner II, and W.C. Clark, *The great transformation*, in *The Earth as Transformed by Human Action*, Cambridge, U.K., Cambridge University Press, 1—17, 1990.)

Так же несомненно, что существуют закономерности на более высоких уровнях технологической эволюции, в особенности в способах, с помощью которых основные технологии группируются по технологическим направлениям. В табл. 3.1. приведена оценка технологического периода промышленной революции, а также природа экологических воздействий. Обратите внимание на сдвиги географического центра активности, которые могут быть коррелированы с перемещением технологии от центра к периферии, как изображено на идеализированном жизненном цикле технологии на рис. 3.2.

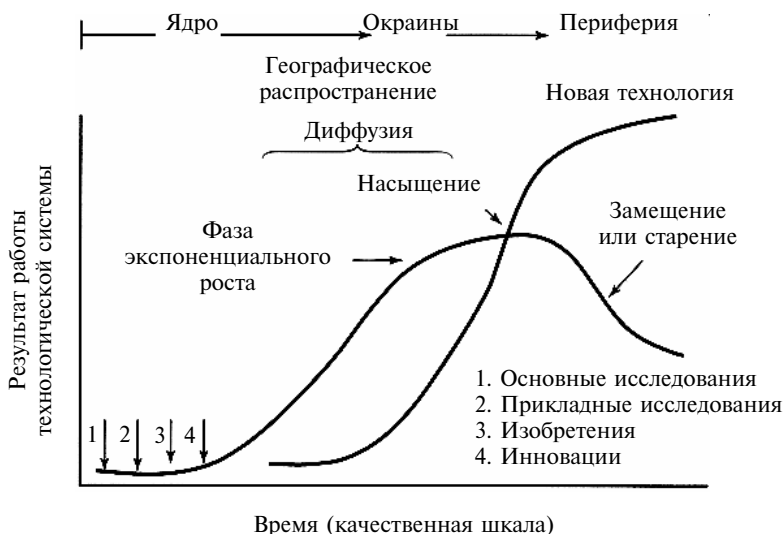


Рис. 3.2

Идеализированный жизненный цикл технологии. Обратите внимание также на географическое распространение технологии, которое обычно начинается в индустриализованном ядре, доходит до окраинных областей по мере того как она становится более распространенной, и достигает совсем отдаленных областей, только когда она становится уже ненужной в центре. Технология, таким образом, распространяется в трех измерениях: экономически, географически и во времени (Адаптировано по A. Grübler, *Technology and Global Change*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1998.)

Рис. 3.4 иллюстрирует важную динамику этих кластеров в перспективе волнообразной смены технологических систем: даже на общем уровне технологической системы оказывается, что темп инноваций и изменения технологии растет: при этом информационно насыщенная пятая волна занимает всего половину времени первой волны, основанной на использовании энергии воды.

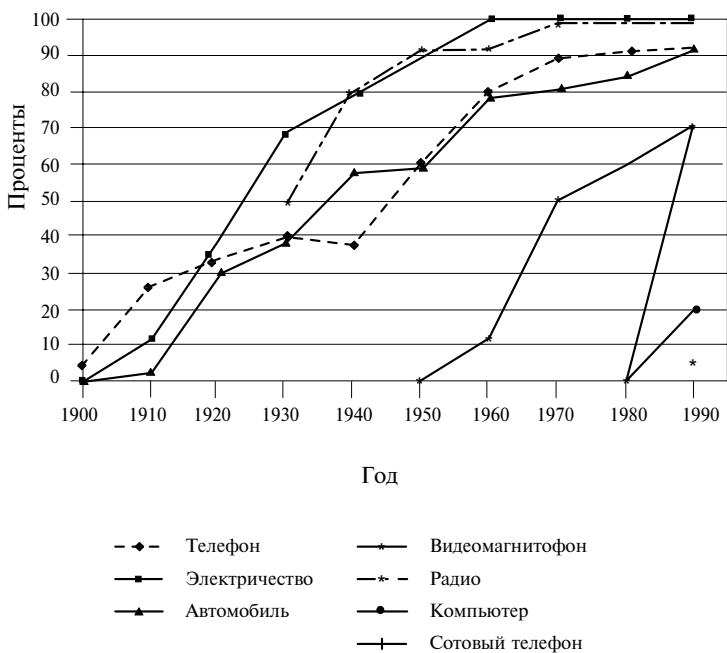


Рис. 3.3

Темпы внедрения технологий, основанные на американских данных. Такие данные и исследования их динамики обуславливают идеализированную модель жизненного цикла технологий, представленную на рис. 3.2



ТАБЛИЦА 3.1 Технологические кластеры, характеризующие промышленную революцию

Кластер	Основная технология	Географический центр деятельности	Период	Природа технологии	Природа воздействий на окружающую среду
Текстиль	Хлопкопрядильная фабрика/ производство угля и железа	Центральные графства Британии / Лендшир	1750—1820	Физическая инфраструктура (сырье, материалы)	Значительные, но локализованные (например, Британские леса)
Пар	Паровой двигатель (от машин до железных дорог)	Европа	1800—1870-е	Обеспечение физической инфраструктуры (энергия)	Рассредоточение, локальное загрязнение воздуха
Тяжелое машиностроение	Сталь и железные дороги	Европа, США, Япония	1850—1940	Физическая инфраструктура (развитие энергетических и промышленных секторов)	Значительные; менее локализованные (использование и захоронение в разных регионах)
Массовое производство и потребление	Двигатель внутреннего сгорания, автомобиль	Европа, США, Япония	1920-е — настоящее время	Использование физической инфраструктуры	Важный вклад в глобальные воздействия (масштабы)
Информация	Электроника, услуги и биотехнология	США, Тихоокеанский регион	1990-е — настоящее время	Развитие инфраструктуры (нефизической инфраструктуры)	Сокращение воздействия на окружающую среду на единицу качества жизни?

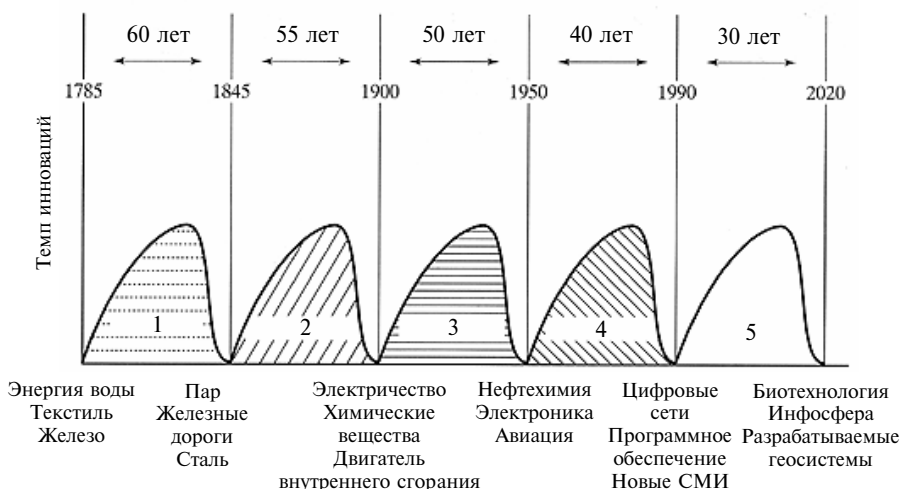


Рис. 3.4

Эволюцию технологии можно изобразить в виде волн различных доминирующих технологических систем. Период цикла каждой волны становится все короче: это означает, что темп технологических изменений становится выше даже на системном уровне

Служит ли история технологий полезным проводником к технологиям будущего? На этот вопрос трудно ответить, поскольку существуют важные аспекты технологической эволюции, для которых у нас пока нет хороших объяснений. Среди наиболее важных отметим следующие.

1. Насколько быстро могут развиваться фундаментальные технологии и каковы соответствующие ограничения?
2. Различные пути технологической эволюции эквивалентны или существуют такие, достижение желаемых результатов которыми более вероятно? Что определяет пути, которым будет следовать развитие отдельных технологий?
3. Каковы дифференциальные распределения рисков, издержек и выгод технологической эволюции между секторами, социальными группами и государствами и кто вправе решать, продолжать ли использовать технологию?
4. Технология — это обычно епархия частных фирм. Каково должно быть взаимодействие внутри круга заинтересован-

ных частных фирм, общественности и правительственных органов и какие группы ответственны за какие элементы технологической эволюции?

Последний вопрос представляет значительный интерес в таких этически и культурно чувствительных областях, как биотехнология, производство и маркетинг лекарственных средств и информационная индустрия, где возможность «цифрового разделения» между информацией представляет проблему богатых и бедных. Комбинация 3-го и 4-го вопросов поднимает другую проблему — риска, в особенности в сложном мире, где бездействие настолько же рискованно, как и действие, и где риск как форма издержек часто относится на тех, кто не представлен в политических дебатах. Будущее технологий, таким образом, неразрывно связано с рисками, реальными или представляемыми, и с тем, как эти риски идентифицируются и оцениваются.

### 3.2 ПОДХОДЫ К РИСКУ

Риск, т.е. вероятность ущерба от какой-либо опасности, является отражением полного проблем мира, в котором будущее не может быть точно известно. В экологических кругах опасности обычно определяются как воздействия на здоровье человека или окружающую среду, но в более широком социальном смысле они включают экономические, культурные и психологические воздействия. Риск имеет два измерения: объективное и субъективное. Объективное измерение выражено количественно и часто выявляется с помощью ряда алгоритмических методик. Оно может включать в себя разработку сложных систем, оценку токсикологии новых субстанций или потенциальных экономических последствий определенных действий. Субъективное измерение не может быть сведено к числам, но на практике оно часто перевешивает объективные подходы.

Многие виды риска количественно определить несложно. Например, в табл. 3.2 представлена в течение года и в течение жизни смертность, связанная с обычными видами деятельности в Нидерландах. Обратите внимание, что видами действий, связанными с наибольшей смертностью (курением или управлением различными транспортными средствами), начинают заниматься добровольно, что является важной субъективной оценкой

риска отдельными людьми. В связи с информацией табл. 3.2 представляет интерес, что стандарты, связанные с очисткой окружающей среды в Соединенных Штатах, основаны на риске порядка  $10^{-6}$  в течение жизни, или один несчастный случай на миллион на протяжении жизни.

ТАБЛИЦА 3.2 Смертность, связанная с различными происшествиями и видами деятельности в Нидерландах

Вид деятельности/ происшествие	Смертность в течение года	Смертность в течение жизни
Затопление в результате прорыва плотины	$1 \cdot 10^{-7}$ (1 из 10 млн)	1 из 133 000
Укус пчелы	$2 \cdot 10^{-7}$ (1 из 5,5 млн)	1 из 73 000
Удар молнии	$5 \cdot 10^{-7}$ (1 из 2 млн)	1 из 27 000
Авиаполеты	$1 \cdot 10^{-6}$ (1 из 814 000)	1 из 11 000
Хождение пешком	$2 \cdot 10^{-5}$ (1 из 54 000)	1 из 720
Езда на велосипеде	$4 \cdot 10^{-5}$ (1 из 26 000)	1 из 350
Вождение автомобиля	$2 \cdot 10^{-4}$ (1 из 5700)	1 из 76
Езда на мопеде	$2 \cdot 10^{-4}$ (1 из 5000)	1 из 67
Езда на мотоцикле	$1 \cdot 10^{-3}$ (1 из 1000)	1 из 13
Курение сигарет (одна пачка в день)	$5 \cdot 10^{-3}$ (1 из 200)	1 из 3

Источник: *Ministry of Housing, Physical Planning, and Environment, National Environmental Policy Plan: Premises for Risk Management, 7, The Hague, The Netherlands, 1991.*

В соответствии с этой таблицей хождение пешком, езда на велосипеде или вождение автомобиля связаны с гораздо большим риском, чем стандарты, которые Соединенные Штаты решают установить на очистку загрязненных объектов. То, что с этими стандартами связаны основные издержки практически каждой такой очистки, становится серьезной проблемой эффективности.

При оценке риска, равно как и при экономическом анализе, необходимо с осторожностью оперировать количественными данными. Например, хорошо известно, что авиаполеты безопаснее, чем поездки на автомобиле, но так ли это? Как показывает

табл. 3.3, это правда в расчете на километр пути, но не на одну поездку и не на час в пути: последние показатели равны. Автобусы, с другой стороны, менее рискованны, чем любой другой вид транспорта как в расчете на одну поездку, так и на час пути и практически так же безопасны, как самолет, в расчете на километр пути.

Профессионалы обычно оценивают риски как объективные, но большинство людей рассматривают их как сугубо субъективные. Это различие в подходах объясняет результаты исследований, в которых экспертов и информированных неспециалистов просили проранжировать риски, связанные с технологиями в широком смысле (табл. 3.4). Это различие в восприятии, по-видимому, возникает в связи с тем, что люди объединяют ряд субъективных факторов со своим определением риска, в особенности:

- 1) степень, в которой риск оказывается контролируемым рискующими (обратите внимание в табл. 3.4, что студенты колледжей, которые много ездят на велосипедах и таким образом чувствуют, что они управляют ситуацией, ранжируют этот риск гораздо ниже, чем эксперты);
- 2) ситуация, когда риска боятся, даже страшатся (внимание к оценке риска раковых заболеваний возникает частично из-за страшной природы болезни);
- 3) степень, в которой риск возлагается, а не принимается добровольно (обратите внимание в табл. 3.4, что Лига голосящих женщин ранжирует риск от применения контрацептивов гораздо ниже, чем эксперты, что, возможно, связано не только с добровольным принятием риска, но и со знакомством с контрацептивами, а также с личным представлением о возможностях, связанных с риском использования контрацептивов);
- 4) степень, до которой риск легко наблюдать, в особенности населению, подверженному риску, и, если возможно, управлять им с использованием современных технологий;
- 5) то, насколько жертвы симпатичны и уязвимы (в особенности дети);

ТАБЛИЦА 3.3 Смертность от несчастных случаев в Великобритании

Вид транспорта	На 100 млн		
	пассажиро-поездов	пассажиро-часов	пассажиро-километров
Мотоцикл	100	300	9,7
Авиа	55	15	0,03
Велосипед	12	60	4,3
Пешком	5,1	20	5,3
Автомобиль	4,5	15	0,4
Фургон	2,7	6,6	0,2
Поезд	2,7	4,8	0,1
Внутренний или междугородний автобус	0,3	0,1	0,04

Основано на *The Economist*, January 11, 1997, 57.

- 6) степень, в которой риск непривычен и количественно не определимым или ранее не известен науке;
- 7) степень, до которой жертвы идентифицируются как индивидуумы в противоположность статистическим группировкам (например, освещение в СМИ катастроф самолетов имеет тенденцию концентрироваться на отдельных жертвах, особенно на детях, поэтому оценка этого риска общественностью значительно отличается от оценок экспертов);
- 8) степень и тип внимания СМИ (сенсационное в противоположность фактическому репортажу);
- 9) наблюдаемая равномерность распределения риска среди различных групп: общественность будет более озабочена, если издержки, затраты и риски неравномерно распределены между группами (другими словами, «распределенная справедливость»), чем эксперт в области оценки риска, которого интересуют главным образом кумулятивный рост и падение абсолютного риска.

Анализ риска проводится в три этапа: оценки, информирования и управления. Первый более объективен и основан на использовании статистических и лабораторных данных для определения риска (табл.3.2). Второй этап включает пути, которыми результаты оценки сообщаются заинтересованным сторонам. Третий имеет дело с действиями, предпринимаемыми организа-

циями или правительствами по минимизации риска. Ниже мы обсудим каждый из них.

ТАБЛИЦА 3.4 Восприятие степени риска от наиболее высокой (1) до самой низкой (30) тремя категориями опрошенных: образованными и политически активными женщинами, студентами колледжей и экспертами

Источник риска	Лига голосующих женщин	Студенты колледжа	Эксперты
Ядерная энергетика	1	1	20
Автотранспорт	2	5	1
Огнестрельное оружие	3	2	4
Курение	4	3	2
Мотоцикл	5	6	6
Алкогольные напитки	6	7	3
Частная авиация	7	15	12
Работа полицейского	8	8	17
Пестициды	9	4	8
Хирургия	10	11	5
Пожаротушение	11	10	18
Большое строительство	12	14	13
Охота	13	18	23
Аэрозоли	14	13	26
Альпинизм	15	22	29
Велосипед	16	24	15
Коммерческая авиация	17	16	26
Электроэнергия (не атомная)	18	19	9
Плавание	19	30	10
Котрацепция	20	9	11
Лыжный спорт	21	25	30
Рентгеновское излучение	22	17	7
Студенческий футбол	23	26	27
Железная дорога	24	23	19
Пищевые консервы	25	12	14
Пищевые красители	26	20	21
Моторные косилки	27	28	28
Назначенные антибиотики	28	21	24
Бытовая техника	29	27	22
Вакцинация	30	29	25

Из Slovic, P., Perception of risk, *Science*, 236, 280—285, 1987.

### 3.3 ОЦЕНКА РИСКА

В экологическом регулировании используется количественная оценка риска, обычно она фокусируется на угрозе здоровью, в особенности на риске раковых заболеваний человека; как правило, эта оценка состоит из пяти этапов: (1) идентификации опасности; (2) определения получаемой дозы; (3) определения вероятности нежелательного эффекта как результата полученной дозы; (4) выявления подвергнутого воздействию населения; и (5) характеристика. Последнее представляет собой вычисление общего воздействия риска: численность подвергшихся воздействию, умноженная на вероятность того, что полученная доза вызовет нежелательный эффект:

$$I = NP(d), \quad (3.1)$$

где  $I$  — общее воздействие риска,  $N$  — численность, подвергшихся воздействию,  $P(d)$  — вероятность того, что указанная доза  $d$  вызовет нежелательный эффект.

Определение вероятности нежелательного эффекта при полученной дозе представляет серьезную проблему оценки риска, в особенности когда рассматриваются малые дозы химических веществ, действие которых может сказаться только годы спустя. Тестирование таких воздействий, как карциногенез или мутагенез, не проводят на людях или с использованием типичных доз; его проводят на лабораторных животных и в дозах достаточно высоких, чтобы добиться измеряемого эффекта в достаточно короткие промежутки времени. По результатам оценивают, можно ли это тестирование использовать для определения реакции человека, и затем экстраполируют дозы до типичного уровня. Метод, используемый для экстраполирования результатов, оказывается проблематичным, поскольку его выбор может определить итог оценки риска. На рис. 3.5, например, сравниваются четыре различных метода экстраполирования данных, полученных на животных, которым параллельно вводили трихлорэтилен. Если ожидать концентраций 10 мг/л в питьевой воде и желать удержать жизненный риск ниже  $10^{-6}$ , экстраполяции  $W$  и  $L$  отражают проблему, в то время как  $M$  и  $P$  — нет. Для многих хи-



мических веществ вероятность определения более достоверна, чем в этом примере, но в общем количественное выражение становится менее надежным с уменьшением вероятности.

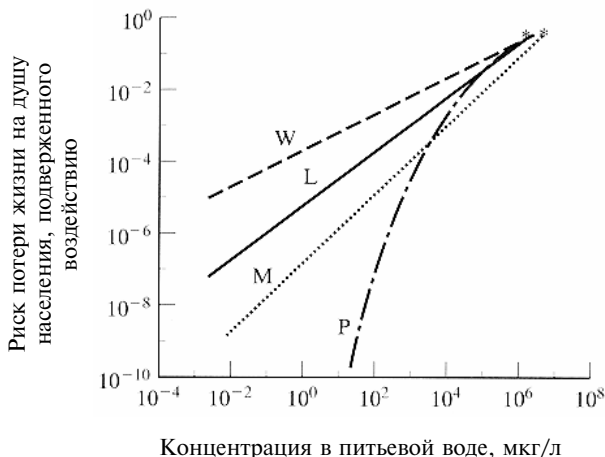


Рис. 3.5

Данные биологического анализа поступления раствора трихлорэтилена в воде (звездочки в правом верхнем углу) и экстраполяции логит (L)-, многоэтапной (M), логарифмической пробит (P)- и Weibull (W)- моделями (C.R. Cothorn, *Uncertainties in quantitative risk assessment — Two examples: Trichloroethylene and radon in drinking water*, in C.R. Cothorn, M.A. Mehlman, and W.L. Marcus, eds., *Risk Assessment and Risk Management of Industrial and Environmental Chemicals*, 159—180. Princeton Scientific Publishing Company, 1988.)

Модели полной оценки риска (*comprehensive risk assessment, CRA*) основаны на признании того, что существуют количественно различные категории риска, связанные с экологическими проблемами. В большинстве моделей используется классификация, принятая правительством Нидерландов, которая определяет три категории риска. Первая касается ущерба биологическим системам в целом и людям в частности. Вторая категория включает риски, которые эстетически разрушают окружающую среду, но могут и не причинить ущерба биологическим системам. Последняя категория — это риск, включающий ущерб фундаментальным системам планеты.

Эта классификация риска может быть использована для выработки иллюстративной CRA-методологии. Для этого сначала рассмотрим уравнение общего риска (3.1). Для первой категории — ущерб биологическим системам — уравнение может быть записано так:

$$B = \beta NP(d_i), \quad (3.2)$$

где  $B$  — общий биологический риск,  $i$  относится к  $i$ -му источнику воздействия, а  $\beta$  — весовой коэффициент, отражающий общественное согласие а также объективную и субъективную ценность биологических систем для общества. Если есть необходимость, это выражение можно разбить на два, отражающие различные веса для человеческих и нечеловеческих систем.

Риск, связанный с эстетической деградацией, можно выразить следующим образом:

$$A = \alpha NP(d_i), \quad (3.3)$$

где  $A$  — эстетический риск,  $N$  — численность подверженных эстетической деградации (включая тех, кто, возможно, физически не присутствует, но оценивает окружающую среду, на которую оказывается воздействие);  $P$  — вероятность эффекта для дозы  $d$   $i$ -го источника воздействия;  $\alpha$  — весовой коэффициент, отражающий общественное согласие. Вероятнее всего,  $\alpha$  будет меньше  $\beta$ , поскольку эстетическая деградация ощущается большинством людей как нечто менее серьезное, нежели ущерб биологическим системам и человеку.

Как и для других категорий экологического риска, точные весовые коэффициенты и взаимодействия доза/ответ для ущерба планетарным системам еще не получены, хотя направление исследований ясно. Весовые коэффициенты должны быть высоки, поскольку эффекты этой категории потенциально ограничивают устойчивость всей планеты. Необходимо интегрировать глобальные воздействия во времени, поскольку они могут растянуться на несколько поколений. Таким образом,

$$G = \gamma \int_{t_0}^{t_1} N(t)P(d_{i,t})dt, \quad (3.4)$$

где  $G$  — глобальный риск,  $\gamma$  — весовой коэффициент; интегрирование осуществляется с настоящего момента  $t_0$  до конца жизни субстанции или рассматриваемого негативного воздействия  $t_1$ . Обратите внимание, что доза и популяция, на которую оказывается воздействие, зависят от времени.

Из этих трех равенств получим CRA:

$$CRA = B + A + G, \quad (3.5)$$

где полный риск равен сумме биологического ( $B$ ), эстетического ( $A$ ) и глобального ( $G$ ) воздействий для каждого отдельного объекта оценки.

### 3.4 СООБЩЕНИЕ О НАЛИЧИИ РИСКА

Сообщение о наличии риска следует за оценкой риска; на этом этапе результаты оценки риска доводятся до заинтересованных сообществ, организаций и индивидуумов. Оценка риска, по крайней мере в принципе, — это объективная операция в области научной интерпретации данных. Сообщать о наличии риска могут корпорации, правительства и СМИ. Из-за этой несопоставимости действующих лиц точное сообщение результатов исследования может представлять сложную задачу, в особенности в эмоционально насыщенных ситуациях.

Классическим примером неудачи при сообщении о наличии риска может служить пример нефтяной платформы Brent Spar в Северном море. Когда эта платформа закончила работу в конце 1980-х, компания Royal Dutch Shell (совладелец платформы с Exxon) наняла экспертов-экологов для определения того, как наилучшим образом ее демонтировать. Были предложены следующие варианты:

- разборка или захоронение на материке;
- затопление в точке нахождения в Северном море;
- разборка в точке нахождения в Северном море;
- захоронение на морской глубине.

На основе экологических, экономических требований и требований безопасности персонала компания Shell и ее эксперты выбрали последний вариант. В сделанном объявлении о решении, однако, не было детального обсуждения проведенной оценки или указания на экологические недостатки отклоненных альтернатив. В результате этот выбор был рассмотрен как корпоративное пренебрежение к окружающей среде, что привело к потере деловой инициативы и престижа фирмы, и в конце концов Shell подчинилась общественному давлению и уступила требованиям разборки на материке.

При любой возможной ситуации, связанной с риском, потенциальные участники ситуации, включают в группу разработ-

чика или обнаружителя риска (часто — корпорацию), экспертов-аналитиков, различные специальные заинтересованные группы и общественность в широком смысле. Часто сложно найти общую основу, но опыт показывает, что подключение всех заинтересованных сторон как можно раньше принятия заключения о справедливости оценки риска и рассмотрение целей и мотивации всех участников по возможности полно приводит к гораздо более высокой вероятности сообщить о наличии риска с необходимой точностью тогда, когда эти этапы игнорируются.

### 3.5 УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ

Заключительный этап структурной основы регулирующих решений или формулирования политики, связанных с риском, — управление риском. На этой стадии риск уже количественно определен (риск оценен) и заинтересованные стороны проинформированы (сообщение о наличии риска). Ставится задача определить, желательны ли какие-либо политические или регулирующие действия. Эти решения по сути представляют комбинацию научного, экономического и социологического аспектов.

Эта задача концептуально сложна, но потенциально разрешима. Она может быть решена, например, с помощью методов, близких CRA для экономических, культурных и других воздействий при предположении, что необходимо выразить все результаты в сопоставимых единицах (например, денежных). Количественно определить воздействия, содержащиеся в уравнениях, можно на основе анализа затрат-выгод или других видов экономического анализа.

Для экономических воздействий, например, можно записать:

$$E = \epsilon NP(d_i), \quad (3.6)$$

где  $E$  — экономические воздействия,  $\epsilon$  — весовой коэффициент, отражающий то, что денежная стоимость экономических воздействий может быть субъективно оценена населением как большая или меньшая единицы при сравнении с другими стоимостями. Обратите внимание также на то, что экономические воздействия возникают во времени; эта формулировка предполагает, что используется настоящая дисконтированная стоимость, или, другими словами, что интеграция во времени была проведена в рамках предшествовавшей оценки.

Практический подход к управлению риском был предложен Гранжером Морганом (Granger Morgan) из Carnegie Mellon University. Морган так определяет свою стратегию: «Ни для кого дополнительно вероятность смерти от этой опасности на протяжении всей жизни не превысит  $X$ ». Необходимость расходования дополнительных ресурсов на снижение риска этой опасности должна определяться в результате тщательного анализа затрат-выгод».

Этот метод иллюстрирует рис. 3.6. Берутся результаты оценки риска, лежащие на кривой, и выбирается определенный уровень в качестве максимально приемлемого риска (*maximum acceptable risk, MAR*).

Этот пример относится к риску смерти человека, *MAR* устанавливается для вероятности смерти от удара молнии. Любой риск, превышающий этот уровень, должен быть понижен. Возможное снижение риска ниже этого уровня может быть определено с помощью анализа затрат-выгод. В методе Моргана управление риском проводится до точки, когда предельные выгоды становятся равными предельным затратам.

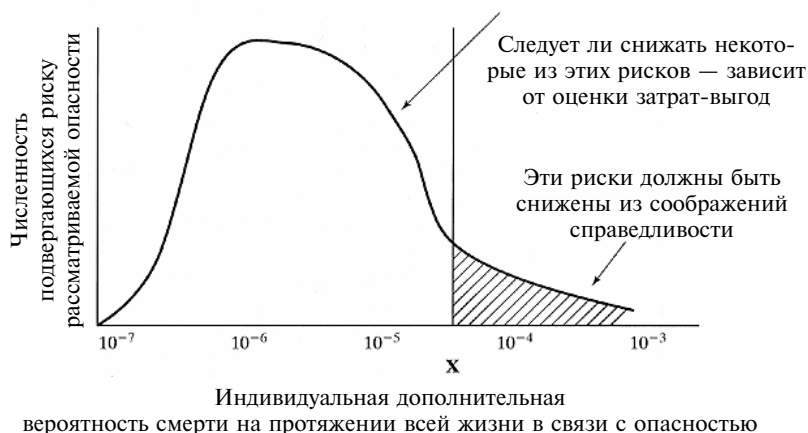


Рис. 3.6

Возможная стратегия управления риском.  $X$  — максимально допустимый дополнительный риск опасности на протяжении всей жизни для каждого человека в обществе. В этом примере  $X$  соответствует  $3 \cdot 10^{-5}$  (Адаптировано из M.G. Morgan, Risk management should be about efficiency and equity, *Environmental Science and Technology*, 34, 32A-34A, 2000.)

Не все решения в области управления риском принимаются или могут приниматься при сочетании науки и экономики. Социальные и культурные ценности обычно также включаются в скрытой либо в явной форме. В последнем случае можно воспользоваться выражением

$$C = \chi NP(d_i), \quad (3.7)$$

хотя не существует общей договоренности о том, как определять культурное воздействие  $C$  и соответствующий весовой коэффициент  $\chi$ .

Полная оценка поддержки политики (*a comprehensive policy support assessment, CPSA*), которая интегрирует MAR с экономическими и культурными аспектами, в принципе может быть определена для каждой рассматриваемой альтернативы. Для  $j$ -й политической альтернативы, например, можно получить:

$$CPSA_j = B_j + A_j + G_j + E_j + C_j \quad (3.8)$$

или эквивалентно:

$$CPSA_j = CRA_j + E_j + C_j. \quad (3.9)$$

Приведенная выше методология подразумевает некий количественный процесс. Во многих случаях это может быть нереалистичным: ресурсы могут не позволить проводить такой детализированный анализ, варианты могут быть трудноопределимыми с достаточной детальностью для проведения количественной оценки, данные могут быть настолько разбросанными и неопределенными, что результаты могут ввести исследователей в заблуждение. Ценность такого подхода, однако, заключается в том, что он дает возможность анализировать полный спектр последствий рассматриваемого решения для рассматриваемой системы в определенный момент процесса оценки.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., *Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999

Arthur, B., Positive feedbacks in the economy, *Scientific American*, 92—99, February, 1990.

Cothorn, C.R., M.A. Mehlman, and W.L. Macus, eds., *Risc Assessment and Risk Management of Industrial and Environmental Chemicals*, Princeton;

- Princeton Scientific Publishing Company, 1988.
- Finkel, A.M., and D. Golding, eds., *Worst Things First? The Debate over Risk-Based National Environmental Policies*, Washington, DC: Resources for the Future, 1994.
- Gold, L.S., T.H. Slone, B.R. Stern, N.B. Manley, and B.N. Ames, Rodent carcinogens: setting priorities, *Science*, 258, 261–265 (1992).
- Grubler, A., Time for a change: On the patterns of diffusion of innovation, in *Technological Trajectories and the Human Environment*, J.Ausubel, ed., Washington, DC: National Academy Press, 14–32, 1997.
- Grubler, A., *Technology and Global Change*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1998.
- Kleindorfer, P.R., Industrial ecology and risk analysis, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 467–475, 2002.
- Lofstedt, R.E., and O. Renn, The Brent Spar controversy: An example of risk communication gone wrong, *Risk Analysis*, 17, 131–136, 1997.
- Masters, G.M., *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Chapter 5, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.
- McNeill, J.R., *Something New Under the Sun*, New York: W.W. Norton & Company, 2000.
- Zeckhauser, R.J. and W.K. Viscusi, Risk within reason, *Science*, 248, 559–564, 1990.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 3.1** Представьте, что вы управляете охраной окружающей среды в развитой стране, столкнувшейся с проблемой: разрешать ли добычу полезных ископаемых в зоне диких болот, которая, вероятно, включает исчезающие виды. Вам требуется осуществить оценку желательности такой деятельности.
- (a) Как много вариантов следует рассматривать?
  - (b) Проведите CPSA для каждого варианта (анализ может быть качественным). Какие заинтересованные группы вам следует привлечь для поддержки своих CPSA? Каковы основные вопросы, которые можно решить с помощью сбора данных, и какие вопросы затрагивают область ценностных суждений?
  - (c) Существуют ли вопросы, которые вы считаете важными, но не можете включить в CPSA? Предположив, что такие вопросы есть, как бы вы обеспечили их рассмотрение в рамках процесса регулирования?
- 3.2** Представьте, что вы отвечаете за управление энергетикой в быстро развивающейся азиатской стране. Если вы не обеспечите быстрого роста производства энергии, ваши аналитики скажут вам, что вы сократите темпы развития своей страны приблизительно на 2% в год. Ваши аналитики также скажут вам, что, по-видимому, только атомная энергия способна обеспечить требуемое количество энер-

гии в соответствующие сроки. С другой стороны, Асвам, соседнее государство, с которым вы дважды воевали за последние десять лет, угрожает разработать ядерное оружие, если вы построите атомные электростанции, поскольку оно опасается, что ваше государство будет направлять ядерное горючее на военные цели. Кроме того, у вас есть маленькое, но растущее и громкое меньшинство, которое против атомной энергии.

- (а) При данных условиях в вашей стране разработайте набор вариантов производства и потребления энергии, которые могут быть вам доступны.
- (б) Используйте методологию CPSA для упорядочения ваших идей по поводу издержек, выгод и рисков каждой альтернативы.

**3.3** Рис является основным продуктом в Азии, но отсутствие в нем витамина А приводит к серьезным негативным последствиям для бедных в этом регионе мира, в особенности к детской смертности. Ряд исследователей и компаний разработали разновидность генетически измененного риса, который теперь содержит витамин А, и передали права интеллектуальной собственности на его выращивание в этих областях. Некоторые основные экологические группы выступают против какого-либо использования модифицированного риса безотносительно выгод в области здоровья и смертности, говоря о том, что это попытки корпораций создать политически приемлемым путем *генетически модифицированные организмы (genetically modified organisms, GMOs)*.

- (а) Используйте CPSA-методологию для определения издержек, выгод и риска использования нового риса.
- (б) Можно ли точно оценить эту ситуацию с использованием такой количественной методологии, как CPSA?



## ЧАСТЬ II

# ФИЗИЧЕСКИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОСНОВЫ

## ГЛАВА 4

# Отношение биоэкологии к технологии

### 4.1 РАССМАТРИВАЯ АНАЛОГИЮ

В название науки «промышленная экология» сознательно включено слово *экология*, термин, образовавшийся в связи с биологическими системами. В этой связи сочетание слова, ассоциирующегося с миром природы, со словом, связанным с его крайней противоположностью, кажется нелепым или по крайней мере необдуманным. Однако идее концептуализации социальных систем (включая промышленные системы) с точки зрения организмов по крайней мере сотня лет. Разница между прошлыми представлениями и развивающимся подходом промышленной экологии заключается в том, что первое концентрируется на поведении и общественной структуре, в то время как последнее — в особенности на физических и химических параметрах: потоках ресурсов, использовании энергии и тому подобном. Видение промышленности во всех аспектах, связанных с цикличностью ресурсов, в противоположность их однократному использованию было представлено в 1989 г. Робертом Фрошем (Robert Frosch) и Николасом Галлопулосом (Nicholas Gallopoulos) из General Motors Research Laboratories, Мичиган. Их статья многими считается первой публикацией в области промышленной экологии.

Рабочее определение биологической экологии таково: это изучение распределения и распространенности организмов и их взаимодействий с физическим миром. В этом же ключе промышленная экология может быть определена следующим образом.

Промышленная экология — это изучение технологических организмов, использования ими ресурсов, их потенциальных воздействий на окружающую среду и путей, которыми их взаимодействие с естественным миром может быть реструктурировано для достижения глобальной устойчивости.

Промышленная экология доказала свою способность быть привлекательной аналогией, поскольку она поощряет идею цикличности (т.е. повторного использования) материалов. Попытки рассматривать производственную деятельность с образами и инструментами биологической экологии сдерживаются в некоторой степени тем, что в сущности это эмпирическая область, в которой системы являются сложными, данные разбросанными, перспективы ставят в тупик, и тем, что промышленная экология находится на слишком ранней стадии своего системного развития для того огромного объема информации, который будет собран. Тем не менее параллели между биологической и промышленной экологией в некоторых областях не только существуют, но и кажутся скорее естественными, нежели надуманными. Цель этой главы заключается в более глубоком изучении биологической аналогии, с мыслью, что в ней больше ценности, чем только в идее цикличности ресурсов. Но насколько больше?

## 4.2 БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Элементарная единица изучения в биологической экологии — это организм, который в словаре определяется как «сущность, внутренне организованная для поддержания жизни». Организмы обладают рядом характеристик, и в общих чертах некоторые из них поучительно перечислить и прокомментировать.

1. *Биологический организм способен осуществлять независимые действия.* Хотя биологические организмы существенно различаются по степени независимости, все они могут осуществлять действия по собственной инициативе.
2. *Биологический организм использует энергию и материальные ресурсы.* Биологические организмы тратят энергию на переработку сырья в новые формы, пригодные для использования. Они также производят тепло из оставшихся после переработки материалов. Излишняя энергия выпускается биологическими организмами в окружающую среду, так же как и остатки материалов (экскременты, урина, выдыхаемый воздух и т.д.). Поток энергии, проходящий через любой организм, представлен на рис. 4.1.
3. *Биологический организм способен к воспроизводству.* Все биологические организмы способны воспроизводить себе

подобных, хотя время жизни и количество потомства сильно варьируют.

4. *Биологический организм реагирует на внешние воздействия.* Биологические организмы быстро реагируют на температуру, влажность, доступность ресурсов, потенциальных партнеров для размножения и т.д.
5. *Все многоклеточные организмы возникают из одной клетки и проходят некоторые стадии роста.* Это качество обычно признается в каждом живом существе от моли до человека (например, знаменитый шекспировский монолог «Возрасты человека» из «Как вам это понравится»).
6. *Биологический организм имеет ограниченную продолжительность жизни.* В отличие от некоторых физических систем, таких, как вулканические или метаморфические скалы, которые могут рассматриваться как имеющие неограниченный срок существования, биологические организмы имеют различную, но ограниченную продолжительность жизни.

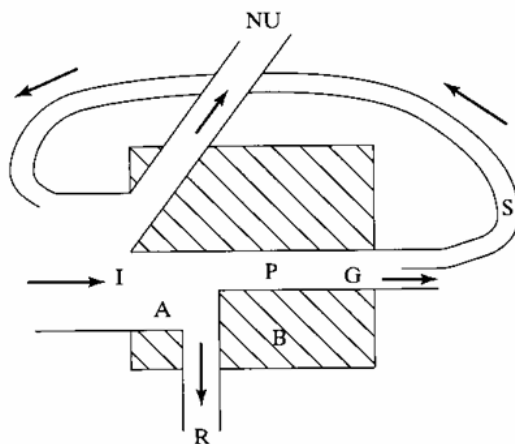


Рис. 4.1

Модель потоков энергии в организме в биологической экологии. I — поглощение; A — усвоение; P — производство; NU — не используется; R — дыхание; G — рост; S — хранение (как например, хранят жир для будущего использования); B — биомасса в организме, стабильна только если между поступлениями и выходом есть точный баланс (R.E. Ricklefs, *The Economy of Nature*, 3<sup>rd</sup> ed., New York: W.H. Freeman, 1993.)

Слово «организм» используется не только по отношению к живым существам. Второе определение организма — «по структуре и функциям что-либо аналогичное живому существу». Следовательно, можно говорить о «социальных организмах» и тому подобном. Но как насчет промышленной деятельности? Обладает ли она объектами, которые удовлетворяет данному определению? Чтобы это определить, давайте назовем «организмом» — завод (включая его оборудование и рабочих) — и посмотрим, каковы его характеристики с точки зрения биологического организма.

1. *Способен ли промышленный организм осуществлять независимые действия?* Заводы (и их сотрудники), очевидно, предпринимают много в сущности независимых действий по своей инициативе: получают ресурсы, перерабатывают их и т.д.
2. *Используют ли промышленные организмы энергию и материальные ресурсы и выбрасывают ли лишнее тепло и остатки материалов?* Промышленные организмы тратят энергию на переработку различных материалов в новые формы, пригодные для использования. Остатки энергии излучаются в окружающую среду, так же как и остатки материалов (твердые и жидкие отходы, выбросы газов и т.д.). По аналогии с промышленной экологией поток энергии в промышленном организме схематически предоставлен на рис. 4.2.
3. *Способны ли промышленные организмы к воспроизводству себе подобных?* Промышленный организм разрабатывается и создается не для целей воспроизводства, но для создания «не-организменного» продукта (например, карандаша). Вообще говоря, новые промышленные организмы (заводы) создаются подрядчиками, чья работа — строить какой-либо завод в соответствии с требуемыми спецификациями, а не создавать повторения уже существующих заводов. Если воспроизводство определяется как создание по существу точных копий существующих организмов, то промышленные организмы не удовлетворяют этому определению. Если допускается существенная модификация, мы можем признать, что копии или подобию организма, без сомнения, создаются. Однако воспроизводство промышленных

организмов является не функцией каждого отдельного организма самого по себе, а функцией специализированных внешних агентов.

4. *Реагируют ли промышленные организмы на внешние воздействия?* Промышленные организмы быстро реагируют на такие внешние факторы, как доступность ресурсов, потенциальные покупатели, цены, и так далее.
5. *Проходит ли промышленный организм некоторые стадии роста?* Здесь аналогия немного натянута. Хотя лишь некоторые заводы не изменяются на протяжении своего существования, они не следуют систематической и предсказуемой последовательности этапов жизни биологических организмов.
6. *Имеет ли промышленный организм конечную «продолжительность жизни»?* Это свойство, без сомнения, наблюдается.

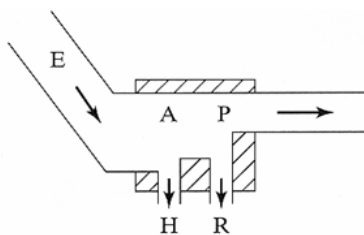


Рис. 4.2

Модель потока энергии в организме (т.е. на производственном предприятии) в промышленной экологии. Е — поглощение энергии; А — усвоение; Н — потери тепла; R — дыхание (т.е. энергия, используемая для работы двигателей и т.д.); Р — производство. В отличие от биологического аналога здесь не существует хранения (по крайней мере спроектированного) и биомасса организма постоянна

Таким образом, завод, по-видимому, можно рассматривать как промышленный организм, поскольку он использует энергию и трансформирует вещество в точности так, как это делает биологический организм. Склад же, который накапливает вещество, но не трансформирует его, — это не организм, точно так же, как почва содержит нитраты, которые организм переработал из атмосферного азота, но сама их не перерабатывает.

Концепция промышленного организма может быть расширена в направлении, которое представляется полезным даже если все указанные выше условия не выполняются. Разумеется, определение биологического организма — «животное или растение, внутренне организованное для поддержания жизни» — требует, по-видимому, только двух условий: организм-кандидат не должен быть пассивным (как осадочная скала или чашка кофе) и должен использовать ресурсы на протяжении своей жизни (как это делает цветок или завод по производству стиральных машин). Таким образом, организмы могут создавать другие организмы (барсуки производят маленьких барсуков, заводы производят стиральные машины) и/или неорганические продукты (барсуки производят шарики фекалий, заводы производят шламы). Ключевым признаком организма, биологического или промышленного, является то, что он участвует в утилизации ресурсов после, как и во время производства.

Для оценки организмов и их взаимодействий биологи используют несколько мер эффективности использования ресурсов. Наиболее распространены следующие:

$$\text{Эффективность усвоения} = \frac{\text{Усвоение}}{\text{Поглощение}};$$

$$\text{Валовая эффективность производства} = \frac{\text{Производство}}{\text{Поглощение}};$$

$$\text{Чистая эффективность производства} = \frac{\text{Производство}}{\text{Усвоение}}.$$

Эти показатели эффективности обычно вычисляются для отдельного организма или группы подобных организмов. Такие же показатели эффективности могут быть вычислены для промышленных организмов, но ситуацию усложняет то, что промышленные организмы едва ли оказываются идентичными по мощности, возрасту и типу оборудования или другим характеристикам. Показатели эффективности промышленного использования ресурсов, таким образом, подходят лучше всего для сравнения только очень схожих предприятий или анализа работы отдельно-го предприятия во времени.

### 4.3 ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ: СЕТИ ПЕРЕНОСА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Все организмы должны потреблять ресурсы для того, чтобы жить и осуществлять свои ежедневные функции. Передача этих ресурсов (питательных веществ и воплощенной энергии, которую они содержат) от одного организма к другому и т.д. формирует *пищевую цепь* (*food chain*). Основные этапы в цепи называются *трофическими уровнями* (*trophic levels*) — от греческого слова, обозначающего пищу). Первый из традиционных трофических уровней в биоэкологии — это уровень первичных производителей (например, растений), которые используют энергию и основные питательные вещества для производства материалов, пригодных к использованию на более высоких трофических уровнях (семена, листья и т.п.). Несколько следующих трофических уровней состоят из травоядных, плотоядных и разлагающих органические остатки организмов (они получают остатки от каких-либо других трофических уровней и регенерируют из них вещества, которые могут использоваться первичными продуцентами). Таким образом, существует четыре типа трофических уровней: (1) добывающие; (2) продуценты, (3) консументы (часто на нескольких уровнях) и (4) разлагающие (сапрофиты). В рамках трофических уровней иногда необходимо различать *гильдии* (*guilds*), которые представляют собой группы организмов, имеющие общие методы, расселение и практику поиска пропитания.

На рис. 4.3 показана упрощенная морская пищевая цепь. В дополнение к доминирующим участникам трофических уровней включен «добытчик», поскольку минеральные вещества, полученные из неорганических резервуаров, необходимы для жизни. Обратите внимание, что пищевая цепь не является полностью последовательной: например, «разлагающие» получают продукты для жизнедеятельности с разных трофических уровней. Бактерии работают как «добытчики» и как «разлагающие» одновременно, получая углерод в результате одной деятельности и минералы — в результате другой. Всеядные (питающиеся более чем на одном трофическом уровне) распространены в природе, но осложняют диаграмму пищевой цепи, не добавляя концептуального понимания, поэтому они не включены в диаграмму.



На рис. 4.4 представлена упрощенная промышленная пищевая цепь, также не показывающая «всеядных». Оказывается, что биологические и промышленные трофические уровни могут быть описаны в сущности с использованием той же терминологии. Но наиболее интересны при сравнении двух диаграмм, возможно, не сходства, а различия.

1. *Эквивалентом разлагающих (сапрофитов) биоэкологии в промышленной экологии является «рециклер» (recycler).* В отличие от биологического сапрофита, который поставляет вещества, пригодные для использования первичным производителем, рециклеры часто могут вернуть ресурсы на один трофический уровень выше, первичным потребителям. На практике, естественно, система редко организована подобным образом; многие рециклеры посылают промежуточные продукты тем же производителям первичной продукции и, таким образом, похожи, скорее, на биологических сапрофитов.
2. *Пищевая цепь промышленной экологии имеет дополнительное звено —демонтаж.* Цель демонтажа — удерживать ресурсы на высших трофических уровнях, передавая как можно меньше их на рециклирование.
3. *В общей биологической пищевой цепи теряется сравнительно мало ресурсов, но в промышленной пищевой цепи их теряется много.* Как следствие, промышленная экосистема должна извлекать значительную часть своих ресурсов извне, а биологическая — только небольшую долю.

Небольшое размышление над этими схемами позволяет заметить и некоторые другие различия между биологическими и промышленными экосистемами.

1. *Скорость адаптации к изменениям.* Рассмотрим, что происходит, если из-за болезни в биоэкологии или регулирующего запрета в промышленной экологии обеспечение питательными веществами промежуточного трофического уровня ограничено или подорвано. Промышленный организм, на который оказывается воздействие, может, по всей вероятности, быстро разработать альтернативный способ обеспечения питательными веществами, возможно, с помощью разработки иного процесса или продукта или путем переговоров с новыми поставщиками. Биологические виды могут

делать то же самое, но, скорее, в течение десятилетий и тысячелетий, чем дней и недель.

2. *Реакция на возросшую потребность в ресурсах.* Предположим, какой-либо вид на промежуточном трофическом уровне находит условия, благоприятные для размножения (из-за отсутствия конкуренции, например), при том, что доступны подходящие питательные вещества. В случае промышленной экологии более интенсивная работа добывающей отрасли и первичных производителей, как правило, может обеспечить потребность в необходимых материалах, возможно, с временным лагом от нескольких дней до нескольких лет. В случае биоэкологии существует весьма небольшая системная способность для значительного увеличения потока питательных веществ, и вероятным результатом может стать то, что среднего индивидуального роста и/или роста популяции не происходит или происходит за счет других видов на тех же трофических уровнях.
3. *Подход к инициативе.* Биологические организмы являются экспертами по деятельности в окружающей их среде. В противоположность этому промышленные организмы борются за то, чтобы определить окружающую их среду. Биологические экосистемы являются респондентами, а системы промышленной экологии — инициаторами.

Концепцию экосистемы (экологической единицы и ее физического окружения) можно обобщить, опираясь на наше обсуждение трофических уровней. Строго говоря, только первоначальный пользователь добытых материалов является несомненным первичным производителем, но организмы многих трофических уровней являются потребителями, и многие организмы функционируют на разных трофических уровнях. В биологических системах, например, деревья используют питательные вещества для производства орехов, которые едят белки, а ресурсы орехов (среди прочего) используются на производство бельчат. Некоторые из этих детенышей становятся пищей для добывающих пропитание млекопитающих и птиц. Белка, таким образом, — одновременно жертва и хищник, вторичный производитель и потребитель. Похожая ситуация существует и в промышленности, где завод, выступающий в роли потребителя, может получать жесткие диски, корпус и клавиатуру как потребитель и собирать компьютеры как вторичный производитель.

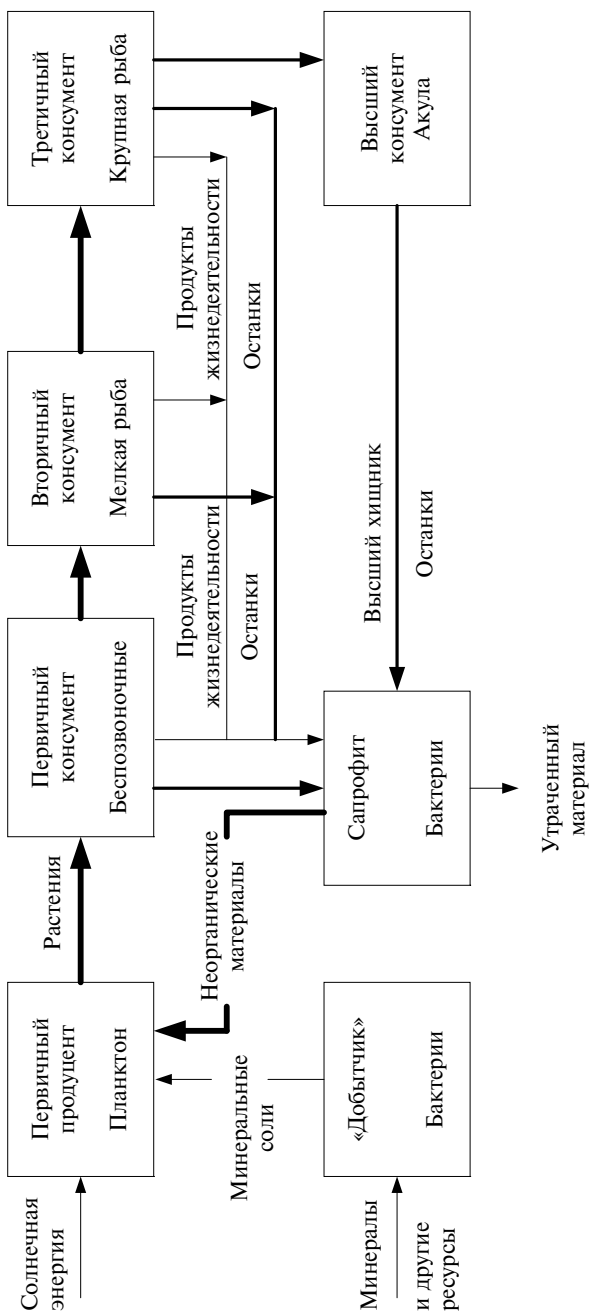


Рис. 4.3

Биологическая пищевая цепь. Цикл начинается с первичных производителей, которые используют энергию и материалы для производства ресурсов, используемых на более высоких трофических уровнях. Число трофических уровней потребления варьирует в различных экосистемах и в некоторой степени зависит от определения: заключительная стадия потребления — стадия высшего хищника или конечного потребителя. Сапробиты возвращают материалы первичным продуцентам, таким образом завершая цикл. В низу каждого блока дан пример организма или водной экосистемы, которые играют роль трофического уровня. Типы ресурсов указаны вдоль стрелок потоков. Толщина стрелок служит грубым индикатором типичных объемов материальных потоков

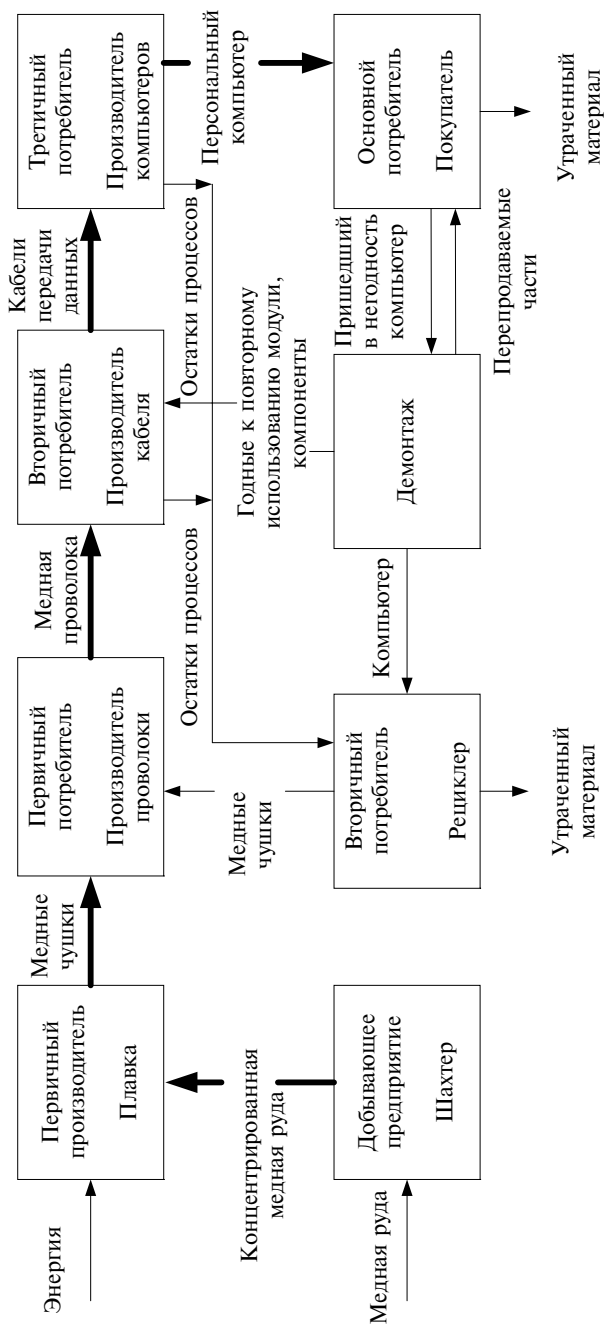


Рис. 4.4

Промышленная пищевая цепь, построенная по аналогии с биологической пищевой цепью рис. 4.3. Организмы, которые играют особые роли на трофических уровнях, на примере использования меди в персональных компьютерах указаны в низу каждого блока. Как и на рис. 4.3, толщина стрелок служит очень грубым индикатором типичной плотности материальных потоков

Как и в случае отдельных организмов, пищевые цепи могут изучаться с помощью моделей энергетических потоков. Классическая биоэкологическая версия показана на рис. 4.5. Энергия поступает в систему от внешнего источника (солнца) только на уровне *автотрофов* (*autotrophs*) — тех организмов, которые способны ассимилировать энергию из неорганических соединений. Оставшиеся уровни образуют *гетеротрофы* (*heterotrophs*), которые используют неорганический материал более низких трофических уровней как источники энергии и питательных веществ. При передаче от одного трофического уровня к следующему энергия уменьшается в результате дыхания и неполного использования продуктов питания. Исследования многих природных систем показали, что эффективность ассимиляции растет на более высоких трофических уровнях (т.е. меньше поступающей энергии остается неиспользованной), но как чистая, так и валовая эффективность производства уменьшаются вследствие требований дыхания организмов, функционирующих при все более высоких темпах метаболизма.

Версия пищевой цепи в промышленной экологии показана на рис. 4.6. Существует одно важное различие между этим рисунком и рис. 4.5. На первом внешняя энергия служит ресурсом на всех трофических уровнях, а не только самом раннем. Эта энергия, в основном от сжигания ископаемого топлива, но также и атомная энергия и энергия различных возобновляемых ресурсов, переворачивает тенденцию потока энергии в биоэкологии так, что в промышленной экологии обычно  $P_n \dots > P_3 > P_2 > P_1$ . В биоэкологии автотрофы обеспечивают энергией и питательными веществами всю пищевую цепь. В промышленной экологии мы обычно находим три типа *аквиротрофов* (*acquirotrophs*) (*acquire* — «приобретать, добывать» — *прим. перев.*): (1) таких, как горнодобывающие компании, которые добывают металлические руды и другие полезные материалы для начала цепи питания; (2) таких, как нефтедобывающие компании, добывающие энергоресурсы, которые могут быть доставлены в любую точку цепи; (3) рециклеры, такие, как продавцы лома, которые поставляют использованные в прошлом материалы в различные места цепи питания. Эта ситуация означает, что агенты на более высоких трофических уровнях — *трансформотрофы* (*transformotrophs*) работают как реципиенты ресурсов трех дополняющих друг друга

пищевых цепей, а не одной. Кроме того, разнообразие их потребностей в питании гораздо больше, чем биологических гетеротрофов.

На вершине пищевой цепи находится «высший хищник» — человек, который употребляет (*employs*) продукты для различных целей, но не трансформирует их; мы будем называть его *имп-лоиотроф* (*employotroph*).

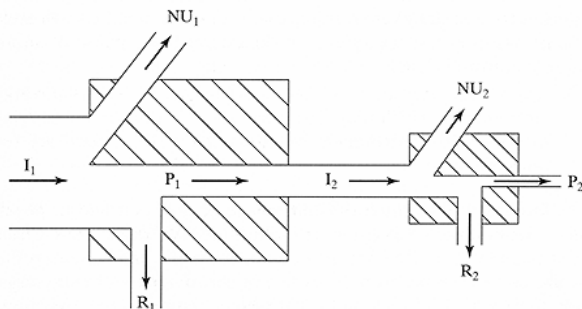


Рис. 4.5

Модель потока энергии в биологической пищевой цепи. Обозначения те же, что и на рис. 4.1. Ключевая характеристика цепи — то, что чистое производство одного трофического уровня становится потребляемой энергией следующего более высокого уровня. Для простоты накопление энергии не показано (По R.E. Rickfels, *The Economy of Nature*, 3rd ed., New York: W.H.Freeman, 1993.)

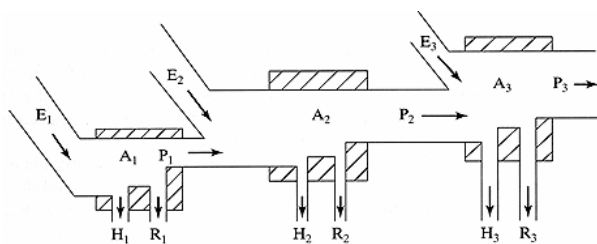


Рис. 4.6

Модель потока энергии в промышленной пищевой цепи. Обозначения те же, что и на рис. 4.2. Ключевая характеристика цепи — то, что чистое производство одного трофического уровня плюс добавленная энергия становятся потребляемой энергией следующего более высокого уровня

#### 4.4 ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

Экология популяций занимается изучением представителей данного вида или нескольких тесно связанных видов — их пространственного распределения, демографии, их временной динамики и эволюции. С точки зрения промышленной экологии не обязательно рабски следовать аналогиям биоэкологии и пытаться изучать характеристики групп промышленных предприятий. Напротив, оказывается интересным рассматривать экологию популяций как инструмент исследования продуктов. В то время как продукты некорректно рассматривать как организмы, поскольку в общем они не выполняют трансформационных функций, оказывается, что некоторые из связанных с окружающей средой характеристик продуктов можно с успехом рассматривать с помощью концепций и инструментов экологии популяций.

Продукты или их семейства существуют, поскольку они заполняют нишу; то есть они оказывают услугу, не доступную ранее или оказываемую менее качественно. Количество и широта семейств продуктов служат индикаторами размера и важности заполняемой ниши. Как и в биоэкологии, продукт умирает, если его ниша исчезает (например, хлысты для управления экипажем) или если он попадает под влияние организма, чья способность заполнить или расширить нишу в некоторой степени превосходит его собственную (например, замена виниловых пластинок компакт-дисками).

В то время как абсолютные количества продукта или его способности к заполнению ниш могут быть важным объектом исследования для экономистов, в промышленной экологии темы, которые нам хотелось бы изучать, относятся скорее к потенциальному потреблению ресурсов и потенциальным воздействиям на окружающую среду как результату промышленной разработки продукта, динамики и эволюции, то есть последствий существования продукта, а не только его существования как такового. Потребление ресурсов, связанное с каким-либо продуктом или семейством продуктов, зависит от размера семейства и количества ресурсов, требующихся для каждого продукта. Математически абсолютный темп потребления  $\alpha$  ресурса  $i$  в определенном географическом районе может быть выражен так:

$$\alpha_i = QU_i, \quad (4.1)$$

где  $Q$  — число отдельных продуктов, ежегодно производимых в этой области (темп производства продуктов),  $U_i$  — среднее использование ресурсов отдельным продуктом.

Для продуктов, изготовленных из местных ресурсов, локальная область — соответствующий географический регион. Для многих продуктов, изготовленных из ресурсов, полученных в результате международной торговли, должен выбираться глобальный масштаб.

На рис. 4.7 показано использование отдельных ресурсов в производстве автомобилей на протяжении 15-летнего периода (данные относятся к США, но типичны для мирового производства автомобилей). В течение того же периода времени количество произведенных автомобилей значительно возросло. Табл. 4.1 показывает изменение темпов использования ресурсов во времени на примере алюминия, представленного на рисунке.

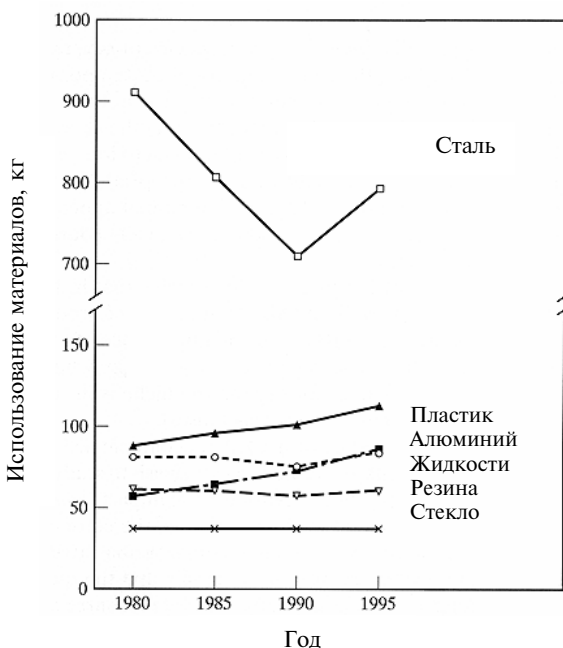


Рис. 4.7

Использование различных материалов в производстве среднестатистического автомобиля в США в 1980—1995 г. (Данные Американской ассоциации производства автомобилей.)

Возможно, больший интерес, по крайней мере для продуктов, которые имеются в достаточном изобилии для того, чтобы



оказывать глобальное воздействие на ресурсы, представляют относительные темпы потребления ресурсов  $\rho_i$ :

$$\rho_i = \frac{QU_i}{R_i}, \quad (4.2)$$

где  $R_i$  — ежегодный объем использования  $i$ -го ресурса для всех целей. Для алюминия значения  $R_i$  и  $\rho_i$  также показаны в табл. 4.1. Если рассматриваемый продукт полностью ответствен за потребление ресурса, то  $\rho_i = 1$ . В 1980 г. производители автомобилей использовали 11% всего алюминия. К 1995 г. эта доля возросла до 15%.

ТАБЛИЦА 4.1 Темпы потребления ресурсов алюминия мировым парком автомашин

	1980	1985	1990	1995
$Q$ , млн автомобилей в год	28,6	32,4	36,3	36,1
$U$ , кг Al/автомобиль	60	65	70	80
$\alpha$ , Тг/год*	1,7	2,1	2,5	2,9
$R_i$ , Тг/год*	15,4	15,4	19,4	19,7
$\rho$	0,11	0,14	0,13	0,15

\* Тг/год =  $10^{12}$  г/год = млн т/год.

Значения  $U_i$  берутся из табл. 4.7; темпы использования алюминия взяты из издания 1999 г. *Materials Yearbook*, Washington, DC: U.S. Geological Survey; темпы производства автомобилей из *World Motor Vehicle Data*, Washington, DC: American Auto Manufacturers Association, 1998.

Равенство демонстрирует, что при необходимости существуют два возможных пути сокращения  $\rho_i$ . Можно сократить плотность продукта  $Q$ , возможно, заменяя его продуктом, который выполняет равноценную функцию, используя при этом другой ресурс. Или можно сократить  $U_i$ , поддерживая функциональность продукта; это называется *дематериализацией (dematerialization)*. В принципе можно было бы также сократить  $\rho$ , увеличивая  $R_i$ , но это вызовет рост общего использования ресурса  $i$ , поэтому это бесполезно.

Объемы выпускаемых продуктов также могут быть связаны с потенциальным воздействием на окружающую среду, которое они оказывают во время производства, использования и в конце жизни. Это потенциальное воздействие является функцией количества продукта или семейства продуктов (или его изменения) и их характеристик, связанных с окружающей средой. Та-

## 76 II Физические, биологические и общественные основы

ким образом, абсолютный уровень  $\varepsilon$  *i*-го экологического воздействия в отдельном географическом регионе определяется так:

$$\varepsilon_j = PI_j, \quad (4.3)$$

где  $I_j$  — среднее *j*-е воздействие отдельного продукта,  $P$  — количество продуктов.

При рассмотрении воздействий на окружающую среду важно определить относительную значимость отдельных продуктов с тем, чтобы определить степень, до которой изменения могут быть желательны. Относительный уровень экологического воздействия определяется уравнением

$$\varphi_j = \frac{PI_j}{\Phi_j}, \quad (4.4)$$

где  $\Phi_j$  — общее экологическое воздействие типа *j*. Если рассматриваемый продукт полностью ответственен за воздействие *j*,  $\varphi_j = 1$ .

### 4.5 КЛАССИФИКАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

Полезно рассмотреть циклы обмена веществ, связанные с предполагаемой примитивной биологической системой, которая, возможно, существовала на ранних этапах истории Земли. В то время запасы потенциально используемых ресурсов были столь велики и количество жизни так мало, что существование жизненных форм в сущности не оказывало воздействия на доступные ресурсы. Это был процесс, в котором поток материи от одной стадии к другой в принципе не зависел от каких-либо других потоков. Схематически то, что мы могли бы назвать системой I типа, изображено на рис. 4.8,а.

В то время как ранние формы жизни размножались, начали развиваться внешние ограничения на неограниченные источники и системы I типа. Эти ограничения привели, в свою очередь, к развитию цикличности ресурсов как альтернативе линейным материальным потокам. Образовались обратные и циклические ресурсные связи, поскольку процессом изменений управлял дефицит. В таких системах потоки вещества внутри непосредственной области окружения могли быть достаточно велики, но потоки внутрь и из этой области (например, от ресурсов к отходам) были в конечном счете достаточно малы. Схематически система II типа изображена на рис. 4.8,б.

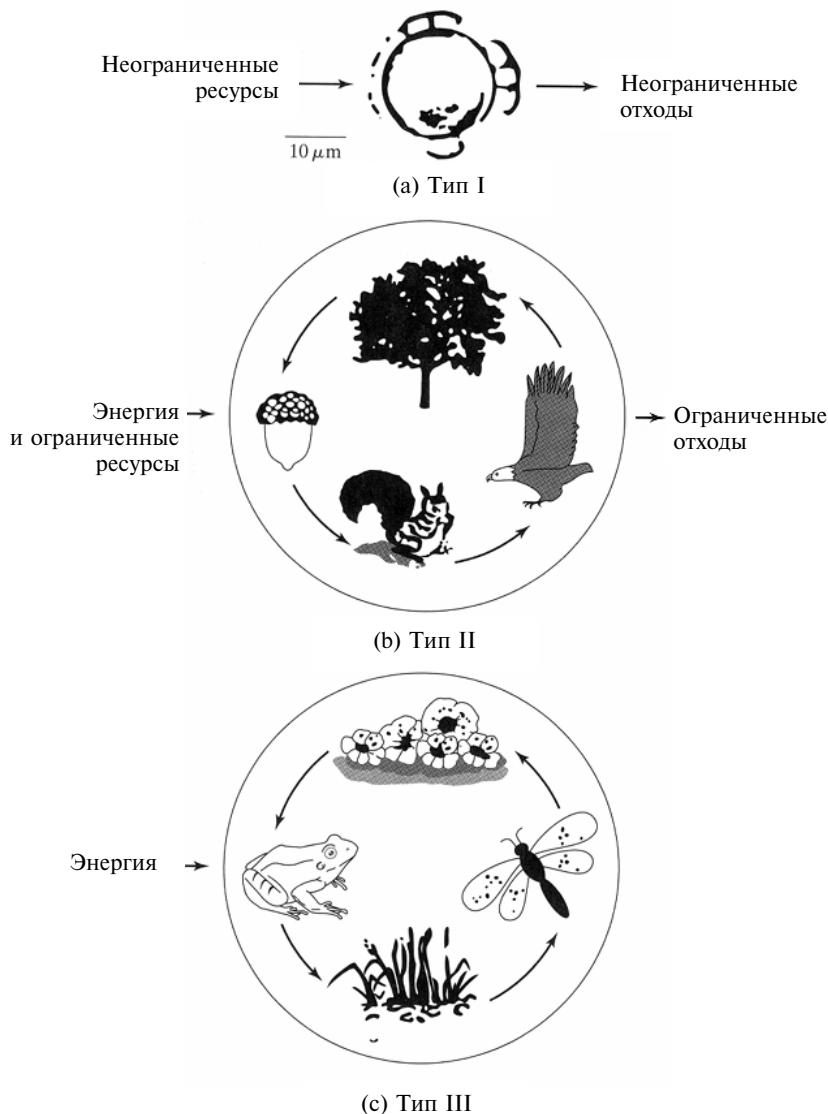


Рис. 4.8

Линейные материальные потоки в биоэкологии I типа (a). Квазициклические материальные потоки в биоэкологии II типа (b). Циклические материальные потоки в биоэкологии III типа (c)

Сказанное о системах I и II типов относится к планете в целом и рассматривает типы экосистем последовательно сменяющие друг друга. Однако отдельные экосистемы могут быть любого типа в любую эпоху. В системе I типа, известной в экологии как открытой, потоки ресурсов, поступающие внутрь и покидающие систему, велики по сравнению с потоками внутри нее. Система II типа, известная как закрытая, устроена противоположным образом. Усложняет этот механизм, в особенности в малом масштабе, то, что экосистема может быть открыта по отношению к одному ресурсу (воде, например) и закрыта по отношению к другому (азоту).

Система II типа намного более эффективна, чем I, но в планетарном масштабе, очевидно, не является устойчивой в долгосрочной перспективе, поскольку все потоки текут в одном направлении, т.е. система «истощается». Для того чтобы быть устойчивой в конечном счете, глобальная биологическая экосистема долгое время эволюционировала до состояния, в котором ресурсы и отходы неопределенны, поскольку отходы одного компонента системы представляют собой ресурсы для другого. Система III типа, в которой достигнута полная цикличность (за исключением солнечной энергии), изображена на рис. 4.8, с.

Как предложено выше, рециклические связи имеют в качестве неотъемлемых свойств временной и пространственный масштаб. Идеальный временной период для рециклической ресурсной связи в биологических системах короток по двум причинам. Во-первых, материал, рассматриваемый отдельным организмом как ресурс, может испортиться, если его долгое время не использовать, и таким образом стать менее полезным для данного организма. Во-вторых, ресурсы, не использованные немедленно, должны сохраняться в каких-либо хранилищах, которые вначале необходимо найти или соорудить, а затем охранять. Тем не менее, примеры запасов ресурсов в биологических системах относительно распространены: белки запасают орехи, птицы запасают семена и т.д., организмы (животные) сопоставляют издержки хранения с выгодами — им самим или их потомству.

Идеальный пространственный масштаб для большинства ресурсных связей в биологической экосистеме мал. Одна из причин заключается в том, что добывание ресурсов вдалеке требует высоких энергетических издержек. Вторая причина в том, что гораздо

сложнее отслеживать и таким образом обеспечивать доступность пространственно удаленных ресурсов. Как и со временными масштабами, на ум легко приходят контрпримеры: скажем, орлы, которые охотятся на большой территории. Однако орлы, наверное, бы эволюционно начали охотиться вблизи от места обитания, если бы такая стратегия давала достаточно ресурсов.

Идеальным антропогенным использованием материалов и ресурсов, доступных для промышленных процессов (широко определенных и включающих сельское хозяйство, городскую инфраструктуру и т.д.), было бы использование, подобное циклической биологической модели. Однако исторически использование ресурсов людьми представляло собой неограниченную диаграмму ресурсов I типа (рис. 4.8, а). Такой режим функционирования в сущности не запланирован и, как следствие, вызывает значительные экономические издержки. В прикладном аспекте промышленная экология нацелена на осуществление эволюции технологических систем с I до II типа и, возможно, в конечном итоге до III типа, оптимизируя в совокупности все вовлеченные факторы (рис. 4.9).

Временной и пространственный масштабы также относятся к аспектам промышленной экологии. Как и в случае биологических систем, временные ресурсные связи должны быть короткими, чтобы коррозия и другие процессы не разрушали материалы, которые можно было бы использовать повторно. Долгосрочные хранилища для общественных ресурсов, многие из которых — просто свалки, не могут быть рекомендованы с точки зрения экосистем: их дорого содержать, там смешиваются материалы, что осложняет их восстановление и повторное использование. Идеальный пространственный масштаб промышленной экосистемы также имитирует ее биологический аналог: малое является лучшим опять из-за энергетических требований долгосрочного обеспечения ресурсами и неопределенности предложения в мире, где политические аспекты, как и ресурсы, могут выступать в качестве ограничений. Однако промышленные организмы могут рассматривать ресурсы в глобальной перспективе (в то время как биологические системы обычно не могут) и получать ресурсы в очень большом пространственном масштабе при наличии удовлетворительной комбинации свойств и цены ресурсов.

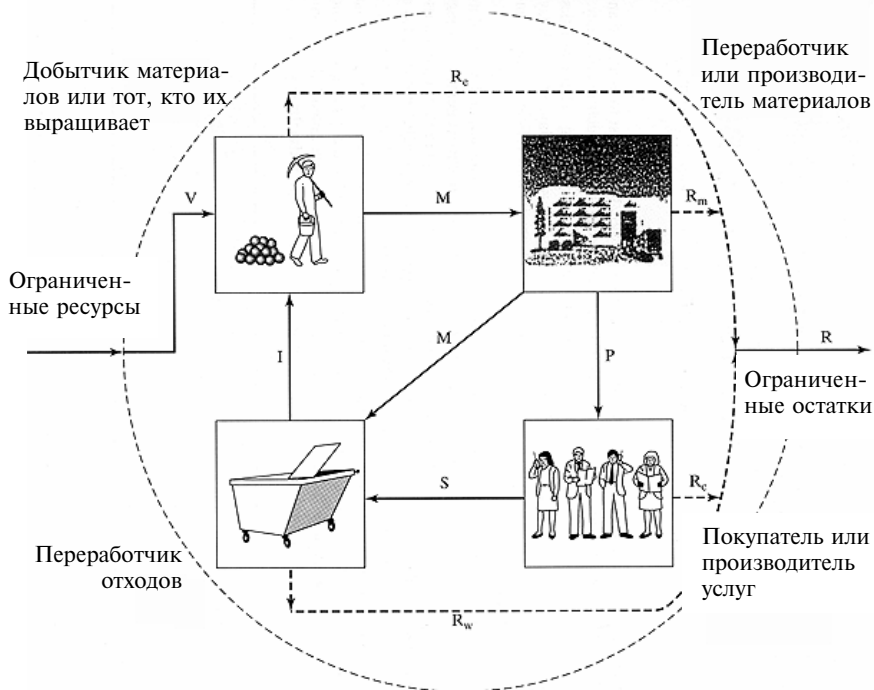


Рис. 4.9

Модель материальных потоков II типа промышленной экологии. Буквы обозначают следующие материальные потоки: V — сырье; M — переработанное сырье; P — продукт; S — собираемое утильсырье; I — неоднородный материал; R — несобранные остатки; e — добывающее предприятие; m — производитель; c — покупатель; w — переработчик отходов

## 4.6 ПОЛЬЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Этот параграф показал, что концепции и инструменты биоэкологии важны для нашего понимания промышленности и ее взаимоотношения с миром природы. Концепция масштаба является центральной идеей, она дает нам возможность рассматривать промышленные предприятия как организмы, действующие индивидуально либо коллективно. Количественные меры эффективности использования ресурсов дают полезную точку

для сравнения. Также важна концепция пищевой цепи, которая обеспечивает основу для аналитического подхода к потокам ресурсов в технологическом обществе.

Возможно, не менее важно символическое признание природы и промышленности как взаимосвязанных систем, которые в идеале действуют для сохранения и повторного использования ресурсов, сопротивляющихся воздействиям и изменяющимся в ответ на возникающую необходимость. Промышленная экология включает такие специфические темы, как детализированную разработку продукта, методы выбора материалов, но в глубине это системная наука.

Здесь мы говорим о ценности аналогии между промышленными и биологическими системами, которая будет рассмотрена более подробно в гл. 22, но можно также заметить, что промышленные системы фундаментально отличаются от биологических. Системы, в центре которых находится человек, демонстрируют три отдельных способа эволюции: биологический, культурный и технологический. Биологические системы в сущности ограничены только первым из этих способов. Человеческие системы рефлексивны в том, что характеризующее их обучение изменяет их: изучение соляного болота не изменяет болото само по себе, но изучение человеческой культуры имеет тенденцию эту культуру изменять. Человеческие системы также менее предсказуемы и более трансформируемы, чем биологические системы в краткосрочной перспективе. В общем биологическая аналогия, очевидно, полезна в оформлении промышленной экологии и ее инструменты полезно использовать, но этой аналогии не следует придавать больше значения, чем она того заслуживает.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Archer, K., Regions as social organisms: The Lamarckian characteristics of Vidal de la Blache's regional geography, *Annals of the Association of American Geographers*, 83, 498—514, 1993.

Frosch, R.A., and N.E. Gallopoulos, Strategies for manufacturing, *Scientific American*, 261 (3), 144—152, 1989.

Graedel, T. E., On the concept of industrial ecology, *Annual Reviews of Energy and the Environment*, 21, 69—98, 1996.

Levine, S. H., Products and ecological models: A population ecology perspective, *Journal of Industrial Ecology*, 3 (2, 3), 47—62, 2000.

Pimm, S. L., Food Webs. London: Chapman Hall. 220 pp., 1982.

Ricklefs, R. E., Ecology, 3rd ed., New York: Freeman. 896 pp., 1990.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 4.1** Обрабатывающая линия на заводе требует электроэнергии 6Дж/день. 15% теряется на тепло и 25% — на дыхание. Вычислите эффективность усвоения и эффективность производства.
- 4.2** Трехэтапная обрабатывающая линия на рис. 4.6 имеет следующие характеристики:  $E_1 = 6$  Дж/день,  $E_2 = 4$  Дж/день,  $E_3 = 3$  Дж/день,  $H_1 = 0,9$  Дж/день,  $R_1 = 1,5$  Дж/день,  $P_2 = 6$  Дж/день,  $H_3 = 1$  Дж/день,  $R_3 = 1,2$  Дж/день. Вычислите общую чистую эффективность производства и прокомментируйте результаты.
- 4.3** В этой главе предлагается рассматривать завод как промышленный организм, и некоторые его характеристики оцениваются с этой точки зрения. Существуют, однако, и другие организмы-кандидаты. Оцените следующее как промышленные организмы, сравните их характеристики с характеристиками завода и определите наиболее подходящий организм-аналог: (а) транснациональной корпорации, (б) города с миллионным населением.
- 4.4** Компания по доставке пакетов занимается бизнесом в одном и том же городе с 1974 г. На протяжении этого периода парк его автомобилей и покрытые расстояния увеличились, город вырос, и количество выхлопных газов контролировалось все более строго. Используя данные, приведенные ниже, вычислите  $\epsilon$  и  $\phi$  для выбросов, формирующих смог углеводородов в каждый указанный год.

Год	P (автомобилей)	Уровень выбросов VOC, г/км	Пробег, км/год	Общие выбросы VOC в городе, млн т/ год
1974	100	0,30	20 000	1,4
1985	150	0,15	25 000	2,6
1995	200	0,02	30 000	4,3



## ГЛАВА 5

# Статус ресурсов

### 5.1 ВВЕДЕНИЕ

Одно из часто упоминаемых препятствий устойчивому развитию — растущий дефицит некоторых ресурсов, от которых зависит наше технологическое общество. Рассматривая эти проблемы, корпорации, старающиеся улучшить свои экологические показатели, обычно декларируют сохранение ресурсов как важную проблему, и использование ресурсов часто включают во множество метрик экологических показателей. Очевидно, существует впечатление, что доступность ресурсов — это законный вопрос.

С другой стороны, существует и противоположная позиция. Эти «сторонники рога изобилия» придерживаются мнения, что запасов ресурсов достаточно. Если запасов по какой-либо причине окажется недостаточно, считают они, будут быстро разработаны субституты для удовлетворения данной потребности.

Можно ли сказать, что одна из этих позиций правильная, а другая неправильная? Или, как и во множестве спорных вопросов, правильный ответ находится где-то посередине? Или вопрос неполон и доступность ресурсов должна рассматриваться в других рамках?

### 5.2 ВРЕМЯ ИСЧЕРПАНИЯ И ОГРАНИЧЕННЫЕ РЕСУРСЫ

Ресурсы полезных ископаемых и энергетические ресурсы, используемые тысячелетиями, а также некоторая часть водных ресурсов, поступили из богатых залежей, находящихся у поверхности Земли, и, таким образом, добываются относительно легко. Рассмотрим ресурсы полезных ископаемых. Поскольку ожидается использование более бедных залежей, полезно знать распределение распространенности элементов, представляющих интерес. Каждый элемент присутствует в той или иной степени в любом типе породы, и оказывается, что спектр встречаемости по крайней мере распространенных химических элементов подчиняется логнормальному закону распределения в обычных породах (рис. 5.1, а).

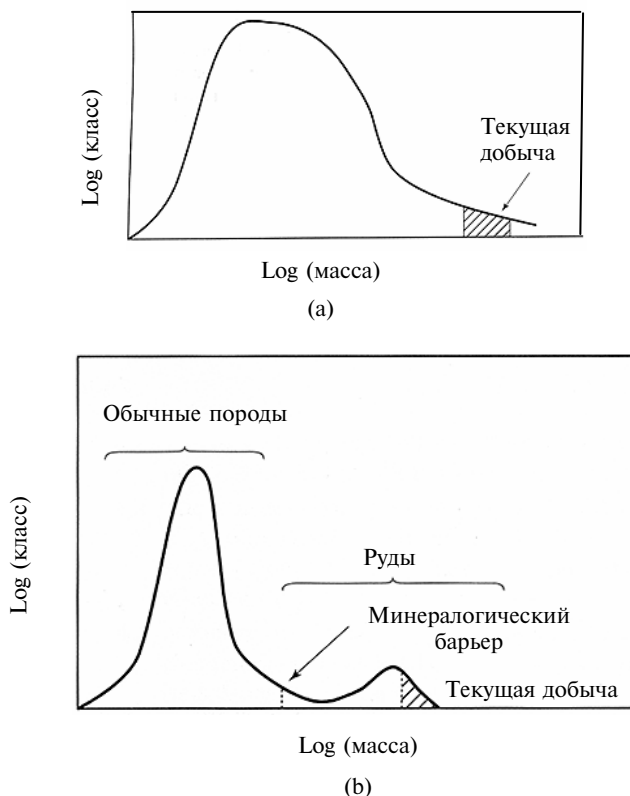


Рис. 5.1

Логнормальное распределение технологически полезного материала в земной коре (а). Бимодальное распределение технологически полезного материала в земной коре (b). На каждом графике заштрихованная область представляет текущую добычу ресурсов (R.B. Gordon, T.C. Coopmans, W.D. Nordhausm and B.J. Skinner, *Toward a New Iron Age?* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.)

Логнормальное распределение, однако, не очень хорошо соблюдается, в особенности для рассеянных элементов, и существуют некоторые свидетельства, что спектр распространенности большинства технологически желательных минералов соответствует бимодальному распределению качества руды (рис. 5.1,b). На рисунке обозначен минералогический барьер; это класс ру-

ды, в котором атомы конкретного химического элемента присутствуют в достаточном количестве для образования отдельных минералов. Ниже этой концентрации отдельные атомы металла замещают другие атомы в минералах наиболее распространенных в обычной горной породе элементов. Безотносительно того, какой спектр распространенности правильный, люди на сегодняшний день использовали только классы руд с наибольшим содержанием элементов (рис. 5.2). При дополнительных усилиях можно использовать более бедные классы руд. Количество ресурсов, находящихся в залежах над минералогическим барьером (предполагая, что рис. 5.1, b правилен), называется резервной базой и оценивается геологическими методами.

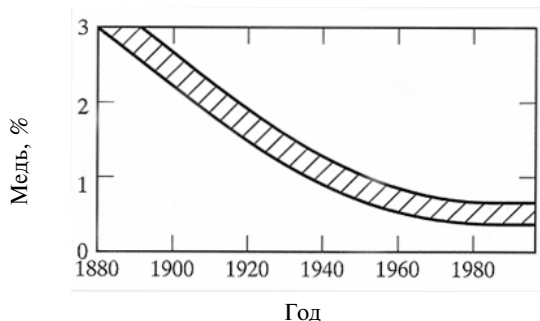


Рис. 5.2

Минимальное качество медной руды, рентабельно добываемой в США за период с 1880 по 1985 гг. (R.V. Gordon, T.C. Coopmans, W.D. Nordhaus, and B.J. Skinner, *Toward a New Iron Age?* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.)

Вопрос редкости может быть начат с исследования основ ограниченности ресурсов. Проблемы связаны с общим объемом ресурсов, которые предполагаются в наличии, и темпами, с которыми они могут быть использованы. Если объем ресурсной базы поделить на ежегодные темпы потребления, получится время истощения, т.е. число лет, оставшихся до полного исчерпания ресурсов при постоянных темпах использования. Для ряда элементов периоды истощения значительно меньше средней продолжительности жизни человека (табл. 5.1). То есть, до тех пор пока не будут найдены дополнительные месторождения или не упадут темпы использования, мы и наши дети, без сомнения, будем видеть впечатляющее исчезновение некоторых ресурсов,

которые сейчас считаются доступными. Правда, запасы ресурсов постоянно увеличиваются в результате открытия новых месторождений, развития улучшенных технологий добычи и в некоторых случаях — более высоких темпов рециклирования.

ТАБЛИЦА 5.1 Классы распространенности в зависимости от темпов использования

В изобилии ( $t_D > 100$ лет)	Al, B, C, Ca, уголь, Cr, Fe, I, K, Li, Mg, Na, Nb, Os, Pt, редкоземельные элементы, Ru, Si, Ti, V, Yt
Распространенные ( $t_D = 50-100$ лет)	Co, Hf, природный газ, Ni, P, Pd, Rh, Sb, Ta, W, Zr
Ограниченные ( $t_D = 25-50$ лет)	Ba, Bi, Cd, Cs, Cu, Mn, Mo, нефть, Se, Sn, Sr, U
Редкие ( $t_D < 25$ лет)	Ag, Au, Hg, In, Pb, S, Th, Zn

Этот список ограничен основными и отдельными рассеянными элементами и источниками энергии и не включает газов или халькоидов. Основано на S. Kesler, *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994.

Однако одинаково верно и то, что глобальный рост численности населения и качества жизни, а также дополнительное использование ресурсов, требуемое для этих процессов, являются противовесами расширения ресурсной базы. Экономические факторы, очевидно, играют основную роль в темпах разведки новых ресурсов и темпах, с которыми используются их запасы, а более высокие цены способны поддержать выросшую разведку, добычу и рециклирование. С учетом сказанного периоды истощения из табл. 5.1 можно считать достаточно хорошими оценками периодов времени, в течение которых сырье будет доступно по более или менее сегодняшним относительным ценам и будет, таким образом, использовано в соответствии с сегодняшним спектром высоко- и менее ценного использования.

### 5.3 СОПУТСТВУЮЩИЕ РЕСУРСЫ (ВКРАПЛЕНИЯ В ОСНОВНУЮ ПОРОДУ)

Многие повседневно используемые материалы встречаются в природе не в концентрированной форме, но как сопутствующие продукты в рудах или других запасах, содержащих более распространенные составляющие. Основные сопутствующие элементы показаны в табл. 5.2. Для некоторых элементов получение их как сопутствующих — это в сущности единственный способ.

Для других подчас находят залежи с достаточной их концентрацией, но большая часть крупногабаритных ресурсов добывается из сопутствующих источников.

Элементы, добываемые исключительно как сопутствующие	Cd(Zn), Ga (Al, Zn, Pb), Ge (Zn), In (Zn), Rh (Cu), Se (Cu), Te (Cu)
Элементы, добываемые в основном как сопутствующие	Au (Cu, Ag), Ag (Au, Pb, Cu), Bi (Pb, Cu), Mo (Cu), F ( $PO_4^{2-}$ ), Co (Ni, Cu), группа Pt (Ni, Cu), V (Fe, нефтяные остатки), Hg (Au, Zn), Tl (Au), As (Cu, Pb, Au, An, Fe), Th (Ti, Zr, редкоземельные элементы), U ( $PO_4^{2-}$ , Cu, редкоземельные элементы), S (Cu, другие сульфидные руды)

Адаптировано из Р. Barton, «Сопутствующие» или совместно встречающиеся ресурсы, *Workshop on Material Flow Accounting*, Washington DC.: U.S. National Research Council, Jan. 26, 1998.

Проблема доступности побочных ресурсов поэтому заключается не в их абсолютном изобилии, но в изобилии и темпах использования их родительского материала. Рассмотрим, например, кадмий. Он появляется почти исключительно как незначительный компонент цинковых руд и отделяется от цинка в процессе плавления и очистки. Распространение кадмия и темп его использования дают период истощения 27 лет. Однако период истощения цинка короче — около 20 лет, считая от 1999 г. Так как продуктивные залежи цинка истощаются и разрабатываются его субституты, что неизбежно должно происходить, то наличие кадмия будет уменьшаться, поскольку низкосортную цинковую руду перестанут добывать в основном из-за наличия в ней кадмия. Это существенно поднимет цену кадмия, что вкупе с его биотоксичной природой будет еще больше способствовать сокращению его использования как промышленного материала. Таким образом, в течение нескольких последующих десятилетий мы, вероятно, увидим быстрое исчезновение чистого кадмия как промышленного материала не из-за его абсолютной распространенности, но из-за форм, в которых он встречается, и из-за его токсичности.

## 5.4 ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

### 5.4.1 ОБМЕН ЭНЕРГИИ НА МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Современная технология предъявляет два основных требования: добыча потенциально прибыльных материалов и преобразование их в формы, подходящие для использования. На выполнение этих требований затрачивается энергия. В конечном счете вся технология участвует в этом обмене: чтобы иметь в наличии материалы, необходимые для современной промышленности, мы должны затратить энергию на получение ресурсов и использовать энергию на придание этим ресурсам подходящей формы. Если нам нужны материалы, мы должны платить цену энергии.

Значительная доля ресурсов добывается в шахтах. В этом процессе много тонн вещества, покрывающего желаемый ресурс, удаляется (и возможно, в конечном счете поступает обратно): до 1000 тонн «нагрузки» на каждую тонну добываемого в конечном счете ресурса. Руда, которая составляет цель этой деятельности, может быть перемещена снова: это зависит от расположения плавильного завода. Получение других ресурсов, таких, как продукты деревообработки, требует менее гигантских, но все-таки существенных затрат энергии. Большая часть энергии, требуемой для выполнения этих задач, обеспечивается бензиновым или дизельным топливом; такое топливо хорошо тем, что его легко транспортировать к месту назначения. Именно эта «мобильная энергия» сделала добычу ресурсов настолько географически обширной и такой эффективной.

Добытые ресурсы, как правило, должны быть переработаны, если их предполагают использовать. Простейшая переработка имеет физическую природу: дробление камня для получения щебенки, укладываемой в основание автомагистральной или используемой как ингредиент при изготовлении бетона. Обычно ресурс претерпевает химическую переработку, примером чего может послужить выделение чистого металла из его оксида или сульфида, находящегося в земной коре. Энергия реально используется на разрушение химических сил, сковывающих вещество в его первоначальной форме, и образование химических связей, которые создают новые формы, полезные для технологии.

#### 5.4.2 ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Использование ископаемого топлива доминирует в энергетическом бюджете человечества. Как можно видеть из табл. 5.3, нефть — это самый крупный источник энергии, обеспечивающий около трети мирового первичного потребления энергии в последние годы. (*Первичная энергия (primary energy)* — это энергия, овеществленная в ресурсах в той форме, в которой они встречаются в природе; невозможно по ряду технических и термодинамических причин восстановить ее всю). Добытый уголь и природный газ составляют большую долю оставшейся части. Биомасса, используемая в основном локально для обогрева и охлаждения, используется для производства 15% общего количества энергии. Ядерная энергия и энергия воды дают по несколько процентов каждая. Таблица показывает, что в добытом в 1990 г. топливе *конечная энергия (final energy* — энергия реально поставляемая в точку конечного использования) была немного меньше трех четвертей первичной. Из общего количества конечной энергии около трети используется в промышленности.

Таблица 5.3 также включает данные по первичным источникам энергии в 1998 г. Некоторые пункты представляют особый интерес. Во-первых, за этот период более чем на 6% возросло глобальное потребление энергии. Во-вторых, доля, обеспечиваемая нефтью, возросла с 34 до 37%, природного газа — с 19 до 20%. В-третьих, доли угля и биомассы немного уменьшились. Ясно, что в XXI в. именно высокотранспортабельные виды топлива обеспечивают рост использования энергии.

#### 5.4.3 СТАТУС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Ископаемое топливо (уголь, нефть и природный газ) формируется, как подсказывает его название, при распаде и изменениях глубоко захороненной органической материи, в основном лесных растений. Эти процессы длятся миллионы лет, так что ресурсы ископаемого топлива для всех практических целей невозобновимы.

Период истощения для нефти и природного газа составляет примерно по 50 лет. Была проведена геологическая разведка этих ресурсов, и сейчас среди геологов-нефтяников существует

единое мнение, что добыча нефти-сырца и газа достигнет своего пика где-нибудь в период 2010—2020 гг. в зависимости от темпов использования и скорости перевода известных запасов в производство. С этого момента миру понадобится переходить на другой спектр источников энергии. Необычные источники гидронных песков и нефтяных сланцев могут помочь в этой ситуации, но общие поставки, экологический ущерб и потребности в воде, связанные с этими ресурсами, делают маловероятной сопоставимость их роли с той, что сейчас играют обычная нефть и газ.

ТАБЛИЦА 5.3 Глобальное потребление энергии в разрезе источников энергии и по секторам, ЭДж/год

	Уголь	Нефть	Газ	Ядерная	Гидро	Электрич еская	Тепло	Био- масса	Итого
Первичная (1990)	91	128	71	19	21			55	385
Конечная (1990)	36	106	41			35	8	53	279
Промышлен- ность	25	15	22			17	4	3	86
Транспорт	1	59	0			1	0	0	61
Другие	10	18	18			17	4	50	117
Сырье	0	14	1					0	15
Первичная (1998)	92	151	80	27	9			44	403

*Источники данных:* N. Nakicenovic et al., *Energy primer*, в *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change*, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, and R.H. Moss, eds., 75—92, Cambridge, U.K.: Cambridge Univeristy Press, 1996, and International Energy Association, *Energy Statistics*, <http://www.iea.org/statist>, 18 июня 2001 г.

Уголь имеется в изобилии, его период истощения более 200 лет. Общая практика открытой добычи угля, однако, проблематична, как и экологические проблемы его сжигания. Уголь, без сомнения, продолжит быть основной энергетической составляющей, но его следует разрабатывать с осторожностью.

Период истощения урана, топлива для ядерной энергетики, такой же, как у нефти. Ядерные реакторы не имеют широкой поддержки населения, однако и долгосрочное хранение отработанного топлива является источником продолжающегося беспокойства. В результате использование атомной энергии не растёт и запасов урана, по-видимому, достаточно на весь XXI в., если не возникнет значительных изменений.



Маловероятно, что другие источники энергии — биомасса, геотермальная, солнечная, энергия воды и ветра — обеспечат хотя бы 25% потребностей в энергии в течение нескольких следующих десятилетий даже при наиболее оптимистичных сценариях развития. Широкое внедрение ограничено запасами (биомасса), природой (геотермальная, энергия воды и ветра), технологией и природой (солнечная энергия) и экологическими соображениями (энергия воды).

Из-за этих ограничений наличия весьма вероятно, что середина XXI в. увидит коренные сдвиги в структуре источников энергии. Газификация угля может играть серьезную роль в этом процессе, хотя она в настоящее время ограничена технологически и экономически неблагоприятна. Возможной альтернативой, в особенности если глобальное изменение климата усилит сдвиг в сторону от ископаемого топлива, может стать новое поколение ядерных реакторов с автоматическим контролем безопасности. Такой переход потребовал бы разработки надежных международных подходов к утилизации ядерных отходов и значительного уровня образования общественности. Этот переход может оказаться наилучшей из доступных альтернатив в ближайшие десятилетия.

## 5.5 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОГРАНИЧЕННЫЕ РЕСУРСЫ

Добыча и переработка минералов требует большого количества энергии, которое зависит от выделяемого металла и класса перерабатываемой руды. Когда какой-либо элемент имеется в достаточном количестве для того, чтобы находиться над минералогическим барьером, т.е. материнская порода может называться рудой, а не горной породой, минералы освобождают от окружающей их материнской породы дроблением и перемалыванием, а затем концентрируют в процессе разделения, например флотации. Получающийся в итоге концентрат минералов может быть затем очищен для получения требуемого металла.

Ситуация с медью ясно иллюстрирует связь между классом руды и энергией. Добыча и переработка относительно эффективны для медной руды (материнской породы, содержащей минералы сульфида меди), хотя энергетические проблемы определенно имеются. Однако полагают, что при содержании минера-

ла менее 0,1% медь рассредоточена в виде твердого раствора внутри силикатных минералов, а не концентрирована в минеральной форме. Для добычи рассредоточенной меди необходимо отделять и перерабатывать сами силикатные минералы. Затраты энергии на эти процессы чрезвычайно велики, поскольку химические связи между атомами в силикатном минерале гораздо сильнее связей атомов в минерале сульфида меди. Metallургический опыт подсказывает, что общие энергетические затраты будут примерно в 10 раз больше в расчете на восстановленный атом меди, если потребуются извлечение ее из силикатных минералов. На рис. 5.3. приведена лог—лог-зависимость потребляемой энергии от класса руды при извлечении меди. График показывает, что извлечение меди из руды с содержанием 0,01% потребует примерно в 100 раз больше энергии, чем для руды с содержанием меди 0,1%.

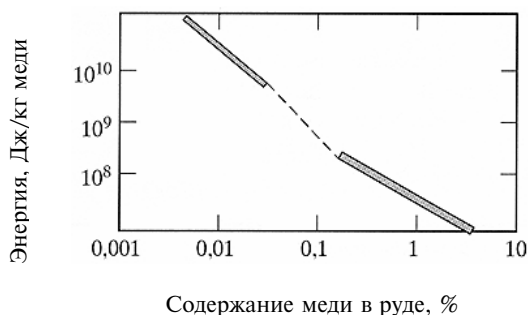


Рис. 5.3

Энергия, необходимая для извлечения меди из руды и для атомарного замещения из обычных силикатных минералов (R.B. Gordon, T.C. Coopmans, W.D. Nordhausm and B.J. Skinner, *Toward a New Iron Age?* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.)

Рост затрат энергии такого масштаба, по-видимому, не будет основным фактором в общем предложении энергии, поскольку отрасли, добывающие цветные металлы, используют только малую часть глобального предложения энергии. Тем не менее более интенсивное использование энергии будет неизбежно вызывать рост цен на добываемый металл. Темпы рециклирования в

этих обстоятельствах будут расти, но, вероятно, не будут поспевать за растущим спросом, который ожидается на дешевые материалы. Результатом, по-видимому, будет сокращение или прекращение невыгодного использования материалов, добыча или переработка которых требует высоких затрат энергии и побуждает заменять более распространенными материалами менее распространенные там, где такие замены имеют технологический смысл.

## **5.6 ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ДОСТУПНОСТИ РЕСУРСОВ**

Ресурсы не распределены по планете равномерно, а отражают особым образом сконцентрированные процессы геохимии и гидрологии. Некоторые ресурсы встречаются пространственно гораздо более равномерно, чем другие. Известняк, железо и поваренная соль доступны почти повсюду, в то время как золото, алмазы, металлы группы платины и нефть находят в приемлемых количествах только в нескольких местах. С точки зрения доступности материалы второго типа легко купить в мире, где широко осуществляются глобальные перевозки товаров. Такой мир свободной торговли, однако, существует не всегда. Войны, политическая нестабильность, картели, природные катастрофы и другие сложности иногда создают ситуации, когда достаточно распространенные материалы становится трудно достать. Во время Второй мировой войны, например, разрушение глобальных перевозок вынуждало все затронутые страны разрабатывать заменители — часто неадекватные — для ряда промышленных материалов.

Лишь некоторые страны могут игнорировать потенциальную возможность недоступности ресурсов, вызванную политическими обстоятельствами, поскольку современная технология использует большую часть элементов периодической системы и все используют бензин. Даже в таких богатых ресурсами странах, как Австралия или Канада, импорт обеспечивает практически все предложение по ряду материалов. Для таких стран, как Япония, с интенсивной промышленной деятельностью, но ограниченными природными ресурсами, очень большая доля используемых ресурсов импортируется.

ТАБЛИЦА 5.4 Географические ограничения предложения ресурсов

Источники на нескольких континентах	Ag, Al, Au, B, Ba, Bi, Br, Ca, Cd, Cl, Co, уголь, Cr, Cs, Cu, F, Fe, Ga, Hf, I, In, K, Li, Mg, Na, природный газ, Ni, нефть, P, Pb, группа Pt, редкоземельные элементы, Rb, S, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr
Источники только на двух континентах	As, Ge, Hg, Mn, Mo, Nb, Tl
Источники только на одном континенте	Be

Взято из информации в S. Kesler, *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994.

Иллюстрация географических ограничений доступности ресурсов приводится в табл. 5.4, где металлы, основные минералы, и энергетические ресурсы были разделены на три группы: (1) широко распространенные ресурсы (определенные как ресурсы, значительные запасы которых встречаются по крайней мере на трех континентах); (2) ресурсы с умеренными географическими ограничениями (ресурсы, значительные запасы которых встречаются на двух континентах) и (3) ресурсы со значительными географическими ограничениями (ресурсы, значительные запасы которых встречаются только на одном континенте). Хотя часто основным поставщиком служит один континент, из таблицы видно, что лишь некоторые ресурсы существенно ограничены географически. Ясно, что можно занять две позиции в отношении ресурсов, которые могут быть ограничены своим географическим распространением. Одна заключается в предположении, что мировая торговля будет продолжаться, что бы ни произошло, что исторически наблюдалось скорее чаще, чем реже. Вторая должна быть более консервативной: признавать, что даже краткосрочные срывы (например, несколько лет) серьезно деформируют технологии. Разработчики продуктов и процессов, таким образом, могут пожелать придать особое значение тем ресурсам, чья доступность, по всей вероятности, не будет зависеть от факторов, находящихся вне досягаемости потенциального пользователя.

## 5.7 ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОГРАНИЧЕННЫЕ РЕСУРСЫ

Становится все более очевидным, что добыча и переработка ресурсов несет с собой потенциал серьезных воздействий на окру-

жающую среду. Вследствие этого мы часто видим ситуации, в которых размещение ресурса известно и его добыча и переработка абсолютно реальны с технологической точки зрения, но потенциальные экологические обязательства диктуют отказ от его использования. При том, что население Земли растет так, что урбанистическая экспансия вторгается в традиционные области восстановления ресурсов, при том, что нетронутых природных областей становится меньше и меньше и при том, что экологическая чувствительность еще больше возрастает, ограничения доступности ресурсов, связанные с охраной окружающей среды, могут только расти.

Простейшее ограничение, но одно из наиболее важных — разрушение поверхностных и субповерхностных (subsurface) экосистем в результате добычи ресурсов. Ресурсы не обязательно размещены в регионах, где вода находится в изобилии, как демонстрируют медные копи в южной Аризонской пещере в Соединенных Штатах. Отделение минералов меди от ненужного шлака путем флотации, следующее за помолом, обычно требует около литра воды на килограмм металла. Использование другого металла аналогично. В местах, где вода в дефиците, переработка руд может быть тяжелой нагрузкой на региональные поставки воды — из-за используемого объема или из-за загрязнения.

Химические вещества, использованные при добыче или переработке, могут стать источником последующей экологической опасности. Золото особенно проблематично в этом отношении. Обычная технология добычи, сейчас в основном не используемая, включала купание руды в ртути, учитывая то, что амальгаму ртути и золота гораздо легче добывать, чем металл сам по себе. Вторая технология включает выщелачивание золота с помощью цианида для его растворения; поскольку выщелачивание происходит в открытых ямах, которые могут разрушаться, опасность для живой природы и экосистем очевидна. Несколько менее опасные технологии выщелачивания других металлов могут также быть потенциальной экологической проблемой.

Щекотливая, но неизбежная ситуация заключается в том, что многие ресурсы металлов встречаются в природе в основном в виде сульфидов. Это вызывает две экологические проблемы. Первая заключается в том, что плавка освобождает серу в процессе получения желаемого металла. Если серу не улавливать,

она выбрасывается в виде токсичного, вызывающего кислотные дожди диоксида. Вторая проблема относится в основном к заброшенным шахтам и не переработанному горному шламу, содержащему сульфиды металлов. Под воздействием воздуха сульфиды медленно окисляются с образованием серной кислоты, которая делает воздействие стоков многих шахт довольно серьезной проблемой.

Многие такие проблемы объединяются при добыче менее насыщенных минеральных руд — требуется больше энергии и больше воды, больше породы перемещается даже при использовании наиболее современных технологий. Роберт Гордон (Robert Gordon) и его коллеги в Yale University определили: если бы потребности Соединенных Штатов в меди в середине XXI в. должны были обеспечиваться не из ресурсной базы, а из «вспомогательной» («*backstop*») в сильно размытом левом сегменте графика распространенности на рис. 5.1, b, то потребовалось бы:

- открытие 300—500 крупных открытых ям-шахт;
- удаление и переработка 13 кв. километров вулканической породы в год;
- использование водного эквивалента 20% потока р. Миссисипи;
- использование половины текущего мирового потребления энергии.

Эти требования, очевидно, невыполнимы. Они, по-видимому, отражают, что абсолютно не реалистично ожидать использования материалов в рудах беднее минералогического барьера и что мы должны защищать нашу ресурсную базу, если хотим продолжать использовать комплекс технологических материалов, по крайней мере в настоящем спектре их использования.

## 5.8 КРИВЫЕ КУМУЛЯТИВНОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Полезную перспективу связи общего предложения невозобновляемых ресурсов и их цены во времени дают кривые кумулятивного предложения, разработанные Джоном Тилтоном из Школы горняков (School of Mines) Колорадо и Брайаном Скиннером из Yale University. Существует три представляющих интерес сценария. В сценарии на рис. 5.4,а предполагается, что небольшой рост спроса со временем вызовет постепенный рост цен. Рисунок

ки 5.4,b и 5.4,c. демонстрируют ситуацию, в которой запасы высококачественной руды истощаются и используется больше залежей менее высокого класса.



Рис. 5.4

Кривые кумулятивного предложения невозобновимых ресурсов. (a) Медленно растущий наклон в результате постепенного роста издержек. (b) Разрыв из-за скачка издержек. (c) Резко растущий наклон в результате быстрого роста издержек (Tilton, J/E. *On Borrowed Time? Civilization and the Threat of Mineral Depletion*, в печати.)

С кривыми кумулятивного предложения связаны несколько групп факторов. Первая группа геологическая и определяет наклон кривой. Как описано ранее в этой главе и показано на рис 5.1, если распределения класса руды логнормальны, они приведут к кривой кумулятивного предложения, представленной на рис. 5.4,a. Если они бимодальны, результатом, по-видимому, будет кривая кумулятивного предложения на рис. 5.4,b или рис. 5,4,c. В настоящий момент недостаточно данных для определения того, какая альтернатива правильная.

Вторая группа факторов связана со спросом и определяет, как быстро мир движется вдоль кривой предложения. Сюда входят глобальная численность населения, доход на душу населения и интенсивность использования материалов (потребление минеральных ресурсов на единицу дохода). Как обсуждалось в гл. 1, первые два фактора неуклонно и все более быстро растут. Интенсивность использования имеет тенденцию к понижению для большинства ресурсов вследствие использования новых технологий и культурных предпочтений продуктов «высшего клас-

са». Также в уравнение спроса на минералы (но не на энергетические ресурсы) входит доступность рециклированного материала как заместителя материала самородного. Принимая во внимание то, что рециклированный материал есть полезное дополнение к добываемым запасам, все же не следует ожидать, что он будет играть доминирующую роль в предложении материалов во время быстро растущего потребления.

Третья группа факторов обладает потенциалом вызвать сдвиг кривой кумулятивного предложения. Новая технология исторически доминировала в этой группе, что сдвигает кривую вниз. Изменения издержек факторов производства как результат эволюции труда, капитала или энергии могут сдвинуть кривую вверх или вниз. История показывает, что эти возможности сложно или невозможно с достоверностью предсказать.

## 5.9 ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Вода — возобновимый ресурс, но тем не менее ограниченный. Воду уже называли «нефтью XXI в.», и существуют все предпосылки к тому, что она будет все более ограничивать использующие ее технологические процессы. В отличие от дерева или других возобновимых ресурсов общее среднее количество воды, которым располагают люди, фиксировано. Однако не фиксировано постоянство темпов предложения, так как засухи, наводнения и среднегодовые осадки — явления относительно общие. Поскольку все секторы промышленности используют воду, некоторые гораздо больше других, размещение производства, тип и эффективность являются важными факторами водного бюджета.

Область потребления	Потребление воды, $10^3$ км <sup>3</sup> /год
Сельское хозяйство	2880
Промышленность	975
Домашнее	275
Другое	300
Итого	4430

Источник данных: S.L. Postel, G.C. Daily, and P.R. Ehrlich, Human appropriation of renewable fresh water, *Science*, 271, 785—788, 1996.



Как видно из табл. 5.5, приблизительно 80% глобального использования воды расходуется в сельском хозяйстве на орошение посевов. Все другие отрасли потребляют дополнительно около 10%. Разное использование и темпы изменения сильно различаются год от года и от одного региона к другому, но текущее потребление составляет более половины всей воды, географически доступной людям. С ростом численности населения и продолжением промышленного развития конкуренция за воду, используемую в сельском хозяйстве, промышленности и в быту, во многих уголках мира будет только усиливаться.

Возможная картина ограничений воды показана на рис. 5.5 для 2025 г. Ожидается, что к этому времени в большей части Африки, Европы и Южной Азии будут испытывать дефицит воды, а Китай и Юг Северной Америки в этом смысле будут находиться в состоянии стресса. Поскольку промышленные мощности эксплуатируются обычно более четверти века, эти прогнозы подсказывают, что мощности следует размещать в таких областях, только если их потребности в воде умеренны, поскольку количество доступной там воды может оказаться недостаточным.

## 5.10 РЕЗЮМЕ

Заканчиваются ли у нас ресурсы? Этот вопрос исследовался с точки зрения абсолютных количеств материалов, формы, в которой они для нас доступны, их географического распределения, энергии, необходимой для их добычи и переработки, и воздействий на окружающую среду, которые ограничивают их доступность. Мы считаем, что каждый из этих факторов способен ограничивать предложение отдельных материалов, хотя и в различных временных и пространственных масштабах. Материалы, чьи кривые кумулятивного предложения следуют предсказуемым моделям предложения-издержек, как на рис. 5.4, а, по всей видимости, не будут страдать от существенной их редкости, по крайней мере несколько десятилетий, хотя рост издержек может со временем изменить спектр их использования. Для материалов, чьи кривые кумулятивного предложения содержат разрывы (рис. 5.4, б) или издержки, которые быстро растут при небольшом росте предложения (рис. 5.4, с), дефицит сырья реально возможен. Для энергетических ресурсов указывается на по-

степенный переход к более высокой пропорции возобновляемых ресурсов. В использовании многие районы, во-видимому, оказываются все более ограниченными.



Рис. 5.5

Карта прогнозных уровней дефицитности воды в 2025 г. для сценария, включающего ожидаемый рост численности населения и промышленное развитие, вместе с умеренными эффектами изменения климата (S.N. Kulshreshtha, *World Water Resources and Regional Vulnerability: Impact of Climate Change*, Report RR-93—10, Laxenburg, Austria: International Institute of Applied Systems Analysis, 1993.)

Очень мало вероятно, чтобы какие-либо ресурсы исчезли совсем, поскольку, если они станут дефицитными, цена станет очень высокой и использование будет падать. Однако в течение нескольких следующих десятилетий существует реальная возможность того, что ограниченно распространенные ресурсы станут достаточно дефицитными, чтобы их возросшая цена вызвала новый спектр природоохранных мер, замещения и более разумного использования.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Campbell, C., and J.H. Laherrere, The end of cheap oil, *Scientific American*, 278 (3), 78—83, 1998.

Chapman, P.P., and F. Roberts, *Metal Resources and Energy*, London: Butterworth, 1983.

Gleick, P.H., *The World's Water, 2000—2001: The Biennial Report on Freshwater Resources*, Washington, DC: Island Press, 2000.

Gordon, R.B., T.C. Koopmans, W.D. Nordhaus, and B.J. Skinner, *Toward a New Iron Age?*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.

Hodges, C.A., Mineral resources, environmental issues, and land use, *Science*, 268,1305—1312, 1995.

Kesler, S.E., *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994. Tilton, J.E., *On Borrowed Time? Civilization and the Threat of Mineral Depletion*, publication forthcoming.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 5.1 Свинец — материал, используемый в электронной промышленности и в батареях. Оцените доступность свинца с точки зрения распространенности, совместной встречаемости и географической встречаемости. На основе той информации, которую вам удастся найти по свинцу, какой прогноз вы сделаете по использованию свинца как промышленного материала в следующие несколько десятилетий?
- 5.2 Качество медной руды со временем ухудшалось, как показано на рис. 5.2. Если бы в 1990 г. вы хотели получить 1 кг меди, сколько было бы необходимо руды, в предположении, что 12% меди теряется как шлам в дробилке и 1% — как шлак при последующей плавке? Сколько требовалось руды в 1980 г., если доли потерь не изменились?
- 5.3 Используя рис. 5.3, оцените энергию, требуемую для извлечения и переработки меди из руды с содержанием 3,0%. Повторите расчеты руды с содержанием 0,3%.

## ГЛАВА 6

# Общество и культура

### 6.1 ОБЩЕСТВО, КУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Что общество и культура должны делать с промышленной экологией? Рассмотрим рис. 6.1, на котором показаны концентрические уровни в типичной промышленной экологической системе. На нижнем уровне, уровне компонентов, связанные с окружающей средой решения представлены решениями инженеров-проектировщиков, и взаимодействиями с обществом и культурой можно пренебречь. На последовательно более высоких уровнях, однако, степень взаимодействия растет. Общественное предпочтение уединенности и статуса, например, отражено в тенденции центров расселения расползаться далеко от рабочих мест и магазинов. Следствием этих предпочтений является стремление к производству более крупных, более мощных и более комфортабельных автомобилей, чем это требовалось бы в более плотной городской среде. Технология и общество, таким образом, внутренне связаны, и из-за того, что воздействия на окружающую среду возникают как результат этих взаимоотношений, технология, общество и окружающая среда также тесно связаны.

Взаимоотношения между социальными и экономическими промышленными и природными системами не статичны. Каждая система эволюционирует вместе с другими, в то же время изменяя свою внутреннюю динамику и общее состояние. Эти взаимодействия происходят на трех уровнях.

Первая и самая широкая перспектива рассматривает промышленную экологию как часть общего технологического предприятия. В этом масштабе промышленная экология, как любая человеческая деятельность, сильно зависит от текущего исторического, социального и культурного контекста. Например, промышленная экология как важный ответ на экологические возмущения не могла бы начать развиваться ранее 1970-х годов с их взрывом движения в защиту окружающей среды. Этот широкий уровень промышленной экологии — сфера компетенции социологов и историков, а не самих промышленных экологов.

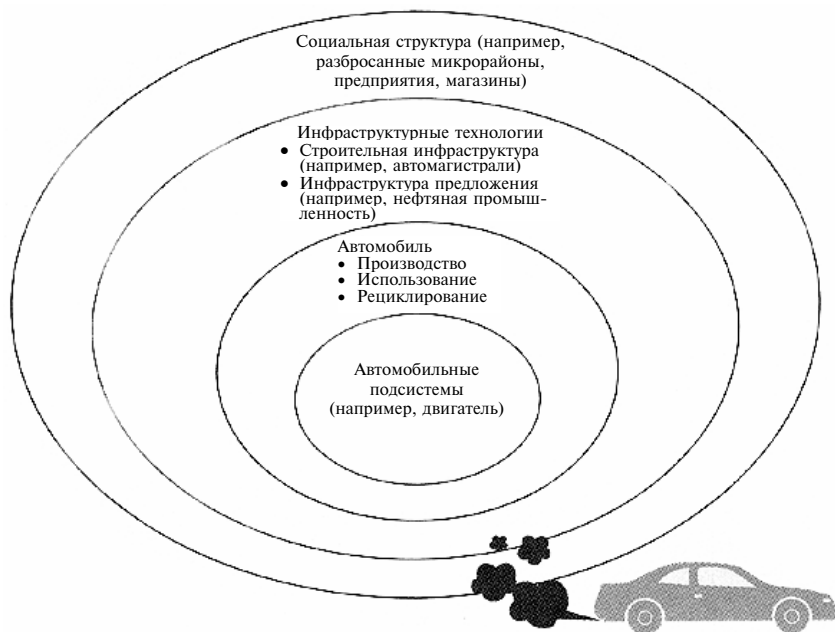


Рис 6.1

Система производства автомобилей: схематическая диаграмма

Большинство промышленных экологов также не будут напрямую представлены на втором уровне общественных взаимодействий, где промышленная экология рассматривается как рабочий пример с точки зрения социологии науки.

Третий уровень — уровень практики промышленной экологии. Здесь культурные и социальные аспекты рассматриваются как элементы изучения промышленной экологии. Например, любое изучение автомобильной промышленности с использованием промышленной экологии потребовало бы принять во внимание изменения спроса и демографии, которые приводят к тому, что люди покупают менее экономичные машины, ездят на них дальше, вызывая большую степень воздействия на окружающую среду.

## 6.2 КУЛЬТУРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ВРЕМЕННЫЕ ШКАЛЫ

Обычно анализ социальных и культурных условий предполагает стабильность, и в большинстве случаев это жизнеспособное и полезное предположение. В долгосрочной перспективе, однако, или когда очень сильна роль идеологии, это предположение может не быть верным, что способно приводить к решениям, вызывающим значительный экологический, социальный и экономический ущерб. Табл. 6.1 подчеркивает, что структура системы становится гораздо более гибкой со временем, и дополнительные элементы становятся более изменчивыми по мере удаления. В более долгосрочной перспективе практически все взаимосвязано и изменяемо. В частности именно поэтому долгосрочные прогнозы, часто основанные на прогнозах текущих тенденций, почти всегда оказываются в корне неправильными.

Существует много компонентов системы, которые в краткосрочной перспективе можно считать фиксированными: основные промышленные системы, такие, как транспортные или энергетические сети; экономические структуры, такие, как частные компании, или многие программы правительства. В среднесрочной перспективе больше элементов становятся гибкими: в то время как модернизация продукта может быть невозможна в течение пяти лет, она вполне может стать возможной в течение 10 лет. Фундаментальные сдвиги потребительского спроса — от сигарет к более крупным автомобилям — обычно происходят именно в таких временных рамках. В более долгом периоде основные технологические системы и их принятие обществом могут полностью измениться — возможно, от опоры на ископаемое топливо к основанной на атомной энергии экономике.

Изменяющаяся природа почти всего в долгосрочном периоде иллюстрирует важность того, что социологи и психологи называют *культурными конструкциями (cultural constructs)*. Это понятия, которые с определенными целями применяются в рамках общества, но скоро начинают казаться абсолютными и не подвергаются сомнению в том обществе, которое их создало, хотя и не обязательно вне его. Например, многие развивающиеся страны озабочены усилиями экологов из развитых стран сделать экологические стандарты частью режима международной торговли под предлогом того, что эти стандарты могут стать серьез-

ТАБЛИЦА 6.1 Структура системы на различных временных интервалах

Временной диа-пазон	Внутри	Вне	Основной механизм осуществления	Основной компонент НИОКР	Интеграция природных и искусственных систем
Краткий период (около 5 лет)	Постепенная эволюция технологий в рамках основных существующих технологических систем	Численность населения, культурные изменения	Политика	Краткосрочные НИОКР по промышленной экологии (например, разработки, связанные с окружающей средой, комплексное управление вредными процессами)	Экспериментальная стадия, включающая малые системы (например, биореакторы, производство лекарств из тканей генетически модифицированных особей овец)
Средний период (5–10 лет)	Эволюция технологических систем, появление новых продуктов и процессов, значительные культурные изменения	Уровень численности населения, значительные культурные изменения	Изменения правовой структуры, дисциплинарные механизмы, основанные на промышленной экологии	Инфраструктура промышленной экологии (например, база данных экологически предостерегающих материалов)	Частичная интеграция биологических и разработанных систем (например, коммерческое получение энергии из биомассы; создания искусственных пойм, контроль за выбросами, переработка отходов)
Долгий период (10–100 лет)	Значительное развитие основных технологических систем; связь между качеством жизни и материальным потреблением; уровни численности населения; максимальные культурные перспективы	Почти ничего	Метрики, изменения в фундаментальных консервативных культурных системах	Системы промышленной экологии (например, ресурсные карты сообществ и регионов)	Управление интегрированными региональными и глобальными системами (например, водными циклами в бассейне Желтой реки или юго-западных Соединенных Штатов); разработка и управление геосистемами

ными барьерами для международной торговли. Аналогично, некоторые озабочены тем, что текущая экологическая политика, проводимая развитыми странами, представляет мощное, но неосознаваемое стремление к улучшениям в пользу населяющих планет сейчас в ущерб интересам тех, кто будет населять ее в будущем. Переговоры по глобальному изменению климата, например, критиковали за поиск стабилизации текущих климатических условий, таким образом устранив важный источник разнообразия, который воздействовал на эволюцию жизни на этой планете. Так же оппозиция биотехнологии явно отдает предпочтение настоящим генетическим структурам перед теми, которые могли бы развиваться в будущем. Это идеологическое и этическое утверждение не осознается большинством участников таких переговоров.

Промышленные экологи истощают социальные конструкции, среди которых очевидная — «устойчивое развитие» («*sustainable development*»), изобретенная и популяризованная в книге 1987 г. *Наше общее будущее (Our Common Future)*. До этой книги ни о каком устойчивом развитии речи не было, после книги — появилось устойчивое развитие. Кроме того, как обычно и бывает с социальными конструкциями, «устойчивое развитие» и более неопределенный термин «устойчивость» за последние 15 лет стали целью борьбы с загрязнением окружающей среды. То, что начиналось как социальная конструкция, а сейчас для специалистов в области борьбы с загрязнением окружающей среды определяет желаемую цель всей человеческой деятельности — это телеология устойчивости. Со временем случайность термина — хотя и довольно явная в его истории — для многих людей исчезла. Опасности, которые это представляет, хотя и являются общими для многих социальных конструкций, очевидны, только если рассматривать устойчивое развитие в рамках основных политических ценностей; затем становится ясно, что термин представляет чрезвычайно специфическую культуру: главным образом социально-демократические традиции Северной Европы. Опасность поднять условное до абсолютного также становится явной: конфликтующие ценности, которые могут представлять интерес для других (индивидуальное равенство возможностей для сторонников доктрины о предоставлении широких гражданских прав), косвенно замяты.



Как отметил Уильям Кронон (William Cronon) в своей книге *Необщая основа (Uncommon Ground)*, превалирование культурных конструкций не ограничивается устойчивым развитием, но простирается до многих других понятий, которые рассматриваются как абсолют: дикая природа, природа и, разумеется, окружающая среда сама по себе. То, что некоторые термины, используемые в промышленной экологии, относятся к социальным конструкциям, не обязательно плохо или хорошо, но это показывает, что догматы ответственной борьбы с загрязнением окружающей среды не являются ни культурно-независимыми, ни абсолютными.

### 6.3 ЧАСТНАЯ ФИРМА В СОЦИАЛЬНОМ КОНТЕКСТЕ

Для промышленной экологии, видимо, важно понимать культурную роль и масштабы частных фирм, поскольку фирмы находятся на стыке социальных организаций, экологических целей, проектных решений и воздействия на окружающую среду. Две наиболее важные идеи здесь следующие: фирмы в своей совокупности являются продуктами культуры; со временем они развиваются.

Ясно, что частные фирмы служат центральными экономическими агентами в любой современной экономической системе. Они также отражают и создают культуры и экономические системы, внутри которых они функционируют, и являются созданиями закона, определенными и модифицированными законом. Отдельные фирмы могут быть компонентами самоорганизованных и слабо связанных промышленных районов, таких, как Силиконовая Долина в США или группа текстильных предприятий рядом с Флоренцией в Италии. Эти компании интенсивно конкурируют, в то же самое время узнавая друг у друга об изменяющихся рынках и технологиях посредством неформального общения и практики сотрудничества. Функциональные границы внутри фирм проницаемы в системе сетей, так же проницаемы и границы между самими фирмами и между фирмами и местными институтами — профсоюзными ассоциациями и университетами.

Частное корпоративное предприятие представляет собой такую неотъемлемую часть современной капиталистической экономики, что лишь некоторые понимают его относительную мо-

лодность. Можно проследить предшествующие корпорациям образования от средневековых систем торговых гильдий; можно рассмотреть более современные примеры торговых компаний, пользующихся правом монополий, данных по королевской хартии, таких, как Британская Восточно-Индийская компания. Однако изобретение истинно современной фирмы ждало появление в начале XIX в. законов, по которым любые организации, удовлетворяющие установленным законом критериям, могли объединяться. Схема, последовательно оформившаяся в западных экономических системах, — сложная сеть независимых фирм, часто конкурирующих на основе технологического или научного творчества, с достаточным количеством инноваций, вознаграждаемых на рынке, — стала основой современных эффективных экономических систем. Таким образом, современная корпорация появилась на определенной стадии промышленной революции, поскольку такая конструкция была необходима для продолжающейся эволюции промышленных экономических систем, характеризующих современное государство. Разумеется, можно также сказать, что такие единицы, как «виртуальные фирмы», представляют собой продолжающуюся эволюцию фирмы в направлении все более сложных и гибких образований.

#### **6.4 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБЩЕСТВО**

Охрана окружающей среды, точно так же как и промышленность, имеет культурные аспекты. На рис. 6.2 приведены некоторые из многих способов оценивания природы. Большинство из них — антропоцентрические, оценивающие природу с точки зрения полезности для человека. Природоцентрические подходы, напротив, рассматривают природные системы как бесценные. Эти различные точки зрения создают различные этические системы, в рамках которых люди осмысливают окружающую среду. Промышленный эколог, вероятно, будет рассматриваться специалистом по охране окружающей среды как лицо, представляющее корпоративное управленчество, слишком много фокусирующееся на рациональности и недостаточно — на эмоциях и ценностях. Если этому не уделить внимания, может возникнуть

напряженность, которая способна сделать диалог между различными группами сложным, если не невозможным.



Рис. 6.2

Системы убеждений, относящихся к экономике, личной свободе, окружающей среде и устойчивости

Различия в системах культурных и личных ценностей вызывают создание различных схем, рамок в которых рассматриваются взаимодействия между охраной окружающей среды, технологией и обществом. В табл. 6.2 приведены четыре наиболее распространенные из них. Следуя за обсуждением отношений между глобальным состоянием технологий и населением (обществом в гл. 1), рис. 6.3 связывает эти концептуальные подходы с

графиками численности населения, которые с наибольшей вероятностью соответствуют этим подходам.

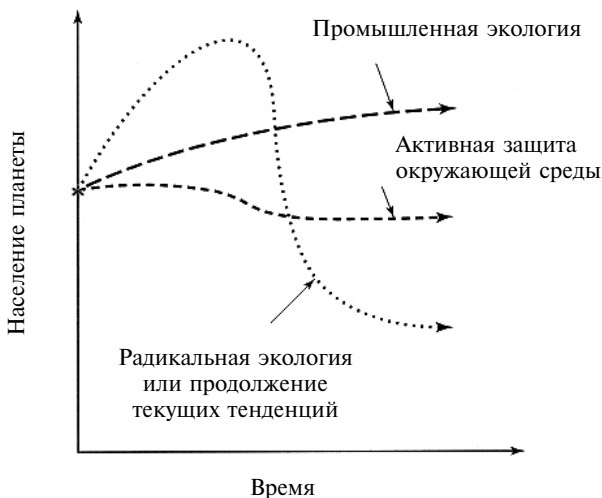


Рис. 6.3

Альтернативные сценарии численности населения, обусловленные различными вариантами взаимодействия технология — окружающая среда. Звездочка — текущая численность населения на планете, около 6 млрд

Первый вариант в табл. 6.2 — это *радикальная экология* (radical ecology). В сущности он представляет программу доиндустриального, низко (даже анти-) технологичного пасторализма — движения «назад к природе». Он отвергает использование современного сельского хозяйства, электроники, медицины, транспорта и других технологических благ. Хотя этот вариант явно отвечает на воздействия на окружающую среду, ассоциирующиеся с началом промышленной революции, цена его осуществления высока, поскольку включает сильно увеличивающуюся восприимчивость к голоду, болезням и «актам Божьей воли». Массовый выбор этого варианта, по-видимому, приведет к миру, который не смог бы поддерживать живущее население и еще меньше — население будущего. Группы, которые поддерживают этот вариант, пока не объяснили, сократили ли бы они население Земли для выполнения их цели, но любое быстрое устранение технологии из жизни общества определенно приве-

дет к серьезному социальному и экономическому сдвигу. Кроме того, трудно понять, как этот вариант мог бы быть реализован, поскольку нет свидетельств того, что это можно сделать без установления полностью авторитарной структуры, которая желала бы предпринимать необходимые шаги.

ТАБЛИЦА 6.2 Варианты взаимодействий технологии и общества

Подход	Воздействие на технологию	Следствие
Радикальная экология	Возвращение к «низким» технологиям	Неуправляемый кризис численности населения; распад экономики и культуры
Постоянная охрана окружающей среды	Соответствующая технология, «низкие технологии» («low-tech»), где это возможно	Более низкая численность населения, значительные корректировки состояния экономики, технологии и культуры
Промышленная экология	Опора на технологическую эволюцию в рамках экологических ограничений; никакого отклонения в сторону «низких технологий», если только они не предпочтительнее по экологическим соображениям	Умеренно более высокая численность населения, значительные корректировки состояния экономики, технологии и культуры
Продолжение существующих тенденций	Специальное использование специфических разрешений (например, запретов на CFC); незначительное воздействие на общие тенденции	Неуправляемый кризис численности населения; распад экономики, технологии и культуры

Четвертый вариант, *продолжение существующих тенденций (continuation of current trends)*, — это также фундаментально порочная, высокзатратная альтернатива. Наиболее очевидная проблема с этим вариантом, который в сущности является продолжением экспоненциального роста до его прекращения в результате крайнего экологического и социального давления, заключается в том, что по этому пути можно идти только относительно недолго (максимум несколько десятилетий) и только с перенесением значительных издержек на плечи будущих поколений и значительным возмущением глобальных экосистем. Непрерывное увеличение интенсивности материальных потоков и быстрый рост запасов капитала, использования энергии и потребления ресурсов не могут поддерживаться бесконечно долго;

результаты таких усилий могут быть до смешного похожи на результаты деятельности радикальной экологии: резкое и неконтролируемое сокращение численности населения со значительным риском политического, экономического и социального распада. К счастью, успешное выполнение Монреальского протокола и эволюция частных фирм в сторону более широкого определения их роли в обществе свидетельствуют, что этот путь уже теряет популярность. Кроме того, основное предположение, которое поддерживало этот путь, — что продолжительный рост личного дохода и потребления был необходим для более высокого качества жизни — становится поддерживать все труднее. Хотя непосредственно измерить качество жизни сложно, многое свидетельствует в пользу того, что растущий личный доход — грубый индикатор потребления — не ведет к росту качества жизни. Рассогласование между материальным потреблением и восприятием высокого качества жизни обнадеживающе свидетельствует о том, что общество может адаптироваться к экологическим проблемам политически приемлемым, гуманным способом.

Оставшиеся варианты, *постоянная охрана окружающей среды (committed environmentalism)* и промышленная экология, разделяют признание того, что экологические факторы и ограничения должны быть внедрены в человеческую культуру и экономическую деятельность на всех уровнях. Они принципиально расходятся в своих взглядах на роль технологии в переходе к более устойчивому миру. Охрана окружающей среды обычно рассматривает технологию с подозрением и активно препятствует введению новых технологий. Для этого реализуются такие политические принципы, как принцип предосторожности, который требует доказательств несущественности риска перед введением любой новой технологии, безотносительно риска, связанного с применяемой технологией. Соответственно постоянная охрана окружающей среды приводит к меньшему уровню поддержки населения и сокращению «несущей способности» Земли. Как и в случае радикальной экологии, маловероятно, что этот вариант будет достижим без значительного политического давления.

Промышленная экология признает необходимость непрерывной технологической эволюции и рассматривает развитие экологически допустимых технологий как решающую состав-

ляющую перехода к устойчивому миру. При условии, что глобальное состояние технологий и уровень численности населения неразрывно связаны и целью является поддержание текущего уровня численности населения (или даже разрешение его роста), чрезвычайно важно развивать улучшенные технологии. Однако промышленная экология представляет собой не только наивный технологический оптимизм. История антропогенного возмущения природных систем не внушает уверенности в том, что род человеческий может переселиться в условия относительной стабильности без значительных экономических, социальных и культурных расстройств или без даже резких колебаний численности населения. Тем не менее промышленная экология принимает как оперативное предположение *возможность* достаточно плавного перехода к стабильной несущей способности посредством сочетания сопутствующих технологического и социального прогресса.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., *Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Board on Sustainable Development, *Our Common Journey*, Washington, DC: National Academy Press, 1999.

Cronon, W., Ed., *Uncommon Ground: Toward Reinventing Nature*, New York: W.W. Norton 1995.

Harvey, D., *Justice, Nature and the Geography of Difference*, Cambridge, MA: Blackwell Publishers, 1996.

McNeill, J.R., *Something New Under the Sun*, New York: W.W. Norton & Co., 2000.

Turner, B.L., W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Matthews, and W.B. Meyer, eds., *The Earth as Transformed by Human Action*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1990.

World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford, UK: Oxford University Press, 1987

## УПРАЖНЕНИЯ

**6.1** Ваша компания, производитель пиломатериалов и продуктов из древесины, предписала вам как промышленному экологу начать диалог со специалистами в области охраны окружающей среды, которые обеспокоены вашими методами ведения лесного хозяйства. Вы убеждены в

том, что доступные научные данные поддерживают ваши методы, и обеспокоены, что эти специалисты больше заинтересованы в заголовках газет, чем в лесном хозяйстве. Какую презентацию вы приготовили бы для вашей первой встречи? Какую роль, как вам кажется, должны играть правительства регионов, в которых вы работаете?

- 6.2** Растущая урбанизация — мощная тенденция в современном мире: прогнозы ООН показывают, что через несколько десятилетий половина населения мира будет проживать в городских центрах. Это потребует в обозримом будущем ежегодного строительства эквивалента восьми городов с населением 10 млн жителей. Рассмотрите, к чему эта тенденция приведет для потоков продуктов и отходов: продовольствия, воды, сточных вод, энергии и т.д. В общем, благоприятна урбанизация для окружающей среды или неблагоприятна? Будет ли она продолжаться, во всяком случае, несмотря на воздействие на окружающую среду?
- 6.3** Используя как пример вашу страну, определите политические последствия каждого из четырех сценариев, изображенных на рис 6.3 и описанных в табл. 6.2. Существуют ли какие-либо варианты, которые были бы сложны, если не невозможны для практического осуществления в вашей стране? Если это так и если бы вам был поручен такой вариант, что вы могли бы сделать для того, чтобы ускорить его осуществление? Каковы были бы связанные с ним издержки?



## Г Л А В А 7

# Правительства, законы и экономические системы

Правительства, в особенности поскольку они разрабатывают и внедряют политические системы, могут играть важную роль во внедрении экологически ответственной технологии. Дисциплина экономики и ее меры, возможно, служат наиболее общими основами этих систем. Соответственно для промышленных экологов важно знать применимые аспекты деятельности правительств, законы и экономику. В этой главе мы представляем краткий обзор этих областей; более детальный анализ можно найти в разделе «Дополнительное чтение».

### 7.1 НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ И ДЕЙСТВИЯ

Правительства на всех уровнях эффективно влияют на поведение фирм, неправительственных организаций и сообществ и, таким образом, на их воздействие на окружающую среду. Наиболее очевидными примерами в экологической области служат экологические законы и предписания. Однако эти механизмы, хотя и по необходимости, часто подразумевают командно-контрольный подход, подход «конца трубы» к экологическим вопросам. То есть они часто поддерживают определенные технологии экологического контроля и устанавливают ограничения на выбросы, соответствие которым достигается не изменением производственного процесса, технологий или характеристик продукта, но с помощью воздухо- и водоочистных сооружений. Такие традиционные подходы к охране окружающей среды представляют лишь незначительный интерес для промышленных экологов. Однако все чаще правительства разрабатывают более сложные средства поощрения экологически приемлемого поведения фирм и потребителей, сосредоточенные главным образом на рыночных инструментах и целях устойчивости (рис. 7.1). Эти стратегии отражают растущий опыт и понимание взаимодействия рыночных систем с правовыми и регулирующими

структурами, с одной стороны, и экологическими системами, на которые оказывается воздействие, с другой (рис. 7.2).



Рис. 7.1

Эволюция экологической политики в странах ОЭСР

Очевидный способ, которым правительства положительно влияют на корпорации, заключается в том, что они являются крупными покупателями продуктов для своего собственного использования. Их также можно считать «косвенными потребителями», выражающими спрос потребителей, сформулированный в виде законодательства, предписаний и менее формальных политических решений и практики. Больше, чем обычно считается, правительства, так же как и потребители, формируют рынки, и в их власти создать новые рынки.

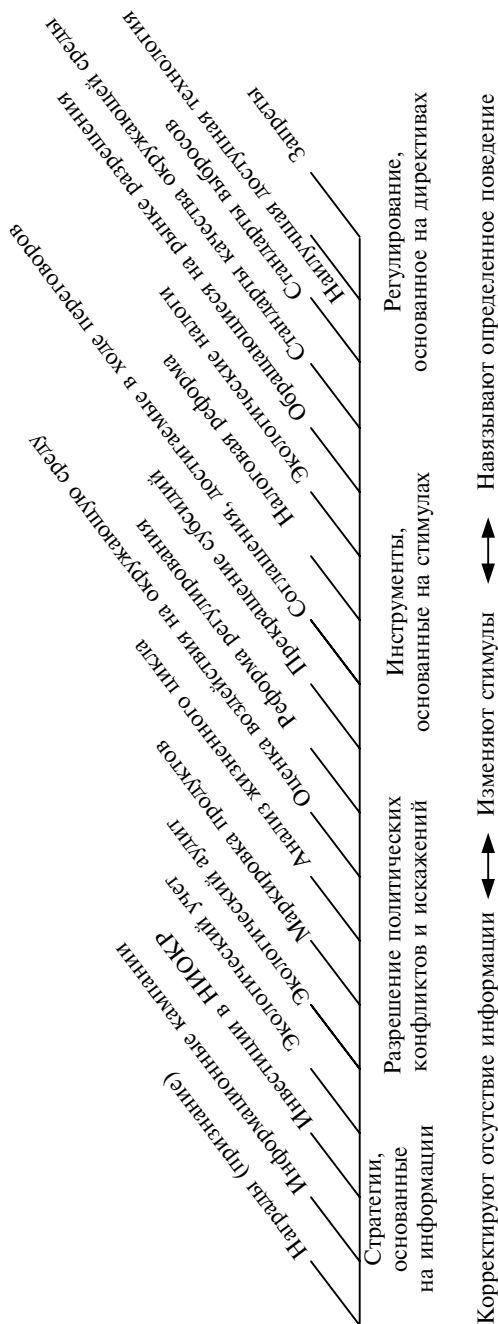


Рис. 7.2

Правительственные стратегии для достижения экологически ответственного поведения в рыночной экономике

Подобным же образом правительства начинают ценить сильные связи между технологической системой и системой экологической политики. Политические программы могут поощрять экологически предпочтительные технологии и принципы промышленной экологии; одним из примеров, при должном его соблюдении, могут служить законы, касающиеся утилизации использованных продуктов производителями. С другой стороны, политические программы могут препятствовать прогрессу, например законы, ограничивающие возможности правительственных организаций покупать продукты, содержащие заново отремонтированные агрегаты или компоненты. Обычно технологические программы правительств, которые содействуют распространению новых технологий, также косвенно увеличивают использование экологически предпочтительных технологий, поскольку современные технологии имеют тенденцию более эффективно использовать ресурсы и энергию.

В этих же целях правительства создают стимулирующие системы налогов и субсидий. Сокращение субсидий, которое поощряет неэффективное использование ресурсов и энергии, или рост налогообложения экологически проблематичной деятельности — это хорошо изученные примеры. Большинство стран субсидируют потребление ресурсов, которое при прочих равных условиях приводит к тому, что люди используют больше энергии, чем они бы использовали в противном случае. «Зеленые налоги» на выбросы углерода от потребления энергии — это попытка сократить такое потребление, но они большей частью не были приняты на тех уровнях, которые фактически влияют на поведение. Повсеместно высказывались общие предложения по налоговой реформе, которая облагала бы налогом экологические нарушения, например загрязнение, и направляла бы собранные средства на социальные выгоды, такие, как занятость, но эти предложения не имели политического успеха.

Существует ряд аспектов, которые могут существенно влиять на способность суверенных государств отвечать на экологические вызовы.

- (а) *Форма правления.* Обычно демократия — западноевропейская или американская будут более «чуткими» в этом смысле, чем тоталитарные режимы, существовавшие в Восточной Европе.

- (b) *Богатство.* Более богатые страны имеют больше ресурсов для решения экологических проблем, чем более бедные страны, и первые могут давать более высокую сравнительную оценку экологическим благам.
- (c) *Размер.* Даже очень прогрессивные маленькие страны, такие, как Дания или Нидерланды, не могут не учитывать того, что большая часть их промышленного производства экспортируется, и поэтому подчиняются стандартам и требованиям, находящимся вне их зоны влияния.
- (d) *Центр внимания.* Страны придают особое значение различным аспектам охраны окружающей среды. Например, Япония является лидером в области эффективности использования энергии, Германия и Нидерланды — в области разработки методов возврата производителям использованных продуктов потребления.
- (e) *Культура.* Существует отчетливое различие между Японией, с ее бережливым подходом к ресурсам и энергии, обусловленным ее островным статусом, и бывшим Советским Союзом, который владел огромной природно-ресурсной базой, был сосредоточен на индустриализации любыми методами и бесцеремонно относился к охране окружающей среды.
- (f) *Внимание к закону.* В некоторых странах существует культура, в которой равенство перед законом сдерживает взаимодействия, в особенности экономические. Другие страны имеют менее формальные системы, где писанный закон — это лишь один из ряда факторов, влияющих на коммерческие отношения. Поскольку последние менее прозрачны и меньше реагируют на общественное мнение, они могут не поддерживать высокие уровни качества окружающей среды.
- (g) *Взаимодействие окружающей среды с другими политическими структурами.* Все страны имеют существующие политические структуры — технологическую политику, финансовую политику, политику национальной безопасности, политику поддержки потребления, которые развивались, вообще говоря, без учета экологических проблем. Поскольку экологические вопросы становятся для обще-

ства стратегическими, они должны быть интегрированы в эти уже существующие политические структуры. Они будут различаться от страны к стране и от региона к региону (Североамериканская зона свободной торговли и Европейский союз, например), поэтому можно ожидать различных результатов их рассмотрения в разных странах.

- (h) *Прозрачность и открытость для правового процесса.* Поскольку правовые системы — не просто объективные, но культурные создания разных стран, они различаются по своей прозрачности и консенсуальной природе. Обычно страны с прозрачными правовыми системами, поощряющими участие общественности, будут иметь более сильные экологические законы.

## 7.2 ВОПРОСЫ МЕЖДУНАРОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Хотя система международного управления быстро изменяется, дело по-прежнему обстоит так, что с полномочиями суверенного государства знакомы большинство людей. Кроме того, суверенные государства имеют власть над любой деятельностью, осуществляемой в их границах. Однако многие экологические проблемы, включающие практически все сложные вопросы, лежат вне границ какого-либо одного суверенного государства: кислотные осадки, загрязнение водного бассейна, разрушение озонового слоя, глобальное изменение климата, потеря биологического разнообразия и мест распространения. Таким образом, существует несовпадение в масштабах политических организаций, обладающих властью и легитимностью, и экологических возмущений, с которыми им необходимо иметь дело. Глобальный масштаб многих антропогенно нарушенных систем природообеспечения в сочетании с неуклюжей системой международного права поднимает вопрос о надлежащем рассмотрении экологических вопросов и передаче обязательств суверенных государств международным организациям, транснациональным корпорациям и политическим структурам.

Существующие международные экологические договоры и соглашения обсуждаются, принимаются и проводятся в жизнь на уровне суверенных государств. Отражая перемещение эколо-

гического фокуса с соответствия и принуждения к промышленной экологии, число этих международных соглашений все быстрее растет (рис. 7.3).



Рис. 7.3

Число международных соглашений, посвященных экологическим проблемам. Такие соглашения образуют основу для текущего глобального управления вопросами охраны окружающей среды, но они заметно исключают фирмы, НГО и сообщества из процесса формального управления (N. Choucri, *The technology frontier: Responses to environmental challenges*, in *Global Accord: environmental Challenges and International Responses.*)

Строго говоря, они относятся только к подписавшим их странам, которые определенно согласны быть связанными этими требованиями, но их влияние имеет тенденцию быть шире. Вследствие их глобального масштаба и их приложения к промышленной и экономической деятельности сверх традиционной сферы охраны окружающей среды эти договоры и другие соглашения представляют особый интерес для практика в области промышленной экологии. Наиболее очевидные примеры включают Монреальский протокол, в соответствии с которым постепенно сокращается производство и потребление хлорфторугле-

родов и других озоноразрушающих веществ; Базельскую конвенцию, по которой контролируется трансграничная перевозка опасных отходов; Киотский протокол по изменению климата, разработанный для регулирования выбросов парниковых газов.

Монреальский и Киотский протоколы и Базельская конвенция разработаны исключительно как инициативы в защиту окружающей среды. Поэтому они проще проблем, возникающих, когда экологические обсуждения включаются в деятельность международных политических структур, которые прежде не имели к экологии отношений. Например, экологическими проблемами начинают заниматься политические структуры национальной безопасности на национальном и многонациональном уровне (например, в НАТО). Сложной была попытка интеграции экологической и торговой политики. Потенциальные конфликты возникают из-за того, что обычно экологическое право старается контролировать средства, с помощью которых производятся товары, вплоть до запрета экологически не соответствующих процессов, в то время как торговое право обычно старается либерализовать поток товаров между странами. Эта динамика сделала взаимодействие торговли и окружающей среды крайне сложным и спорным, включая сложные вопросы интерпретации. Еще больше усложняет дело беспокойство развивающихся стран по поводу внедрения экологических соображений в торговые переговоры, поскольку их считают не относящимися к защите окружающей среды, а просто попытками развитых стран поставить в невыгодное положение продукты развивающихся стран для защиты внутренних рынков.

### 7.3 ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И ПРАВОВАЯ СИСТЕМА

Экологические законы придуманы не сегодня. Уже в 1306 г. Лондон установил ограничение на сжигание угля из-за ухудшения состояния воздуха. Такие законы стали более распространенными, когда индустриализация вызвала значительные точечные выбросы. Например, система LeBlanc для производства соды (карбоната натрия), запатентованная в 1791 г., привела к значительным выбросам газообразной HCl в воздух, окружающий заводы. В конце концов английский парламент выпустил Закон о



щелочи 1863 г., требующий от производителей собирать кислоту в специальные башни, разработанные У. Госседжем (W. Gossage).

Как и в этих исторических примерах, большая доля экологического законодательства отражала восприятие экологических проблем, распределенных во времени, пространстве и средах (т.е. воздухе, воде, почве). Например, в недавнем прошлом было обычным делом бороться с загрязнением грунтовых вод органическими растворами, которые потом удаляли методом «ухудшения воздуха», или просто выбросом растворителя в воздух, где во многих случаях он участвовал в образовании озона тропосферы. Аналогично, многие места захоронения опасных отходов в США были «очищены» просто путем перевозки загрязненного грунта куда-то еще, что не только не решает проблемы, но создает опасность происшествий во время удаления и транспортировки. Экологическое регулирование, таким образом, было традиционно сконцентрировано на определенных явлениях и использовало так называемый командно-контрольный подход.

### 7.3.1 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ

Появление концепции «устойчивого развития» вместе с признанием того, что экологические вопросы теперь стали стратегическими для фирм и общества, чрезвычайно усложнило правовую структуру, в рамках которой происходит управление экологическими проблемами. Как показывает пример торговли и окружающей среды, приведенный выше, это поднимает ряд фундаментальных правовых вопросов, обсуждаемых ниже.

**Равенство внутри поколения.** Распределение богатства и власти как между суверенными государствами, так и между элитами и маргинальными группами внутри суверенных государств — одна из основных тем политической науки. Это высокоидеологизированная и спорная область, на полюсах которой, с одной стороны, равенство результата, называемое *эгалитаризмом* (egalitarianism), и с другой стороны, равенство возможностей, называемое *либертариизмом* (libertarianism). Устойчивое развитие — это эгалитарная концепция; она предполагает достаточно равное качество жизни для всех людей как предпосылку социальной стабильности и экологического сознания и тем самым подразу-

меваает значительное перемещение ресурсов между богатыми и бедными странами, а также внутри стран. Следует ли эту модель реализовывать и как это делать — предмет широких дебатов.

**Равенство между поколениями.** Эта идея, которая утвердила бы эгалитарную этику между поколениями, также является частью концепции устойчивого развития. Помимо того, что она спорная в отношении эгалитарных следствий, вытекающих из нее, она проблематична с практической точки зрения. Она потребовала бы, например, в текущих диспутах затронуть интересы будущих поколений — таких, как хранение радиоактивных отходов, производств электроэнергии, уничтожение и восстановление лесов и степень усилий по смягчению изменения климата. В то время как многими правовыми и философскими традициями признаются некоторые общие требования справедливости между поколениями, будущие поколения не рассматриваются как имеющие осуществимые юридические права, частично из-за того, что в сущности невозможно определить ни будущих индивидов, ни их интересы с достаточной точностью для учета их при выработке решения.

**Гибкость правовых инструментов.** Из за того что правовые системы во многих обществах входят важными компонентами в социальную структуру, они обычно консервативны и достаточно негибки. Например, нежелательна ситуация, при которой законы о наследстве изменяются каждые шесть месяцев: передача собственности между поколениями, гарантия свободного наследования титула и сохранение семейной гармонии и ожиданий — все доказывает необходимость достаточно стабильной системы наследования. Цена этой негибкости — неспособность подстроиться к изменяющимся условиям. Там, где изменения ограничены и предсказуемы — как это может быть с вопросами наследства — эта негибкость относительно неважна.

Однако там, где изменения происходят быстро и кардинально, как, например, это происходит с экологическими проблемами, такая негибкость может привести к значительной неэффективности. Это именно так, поскольку экологическое регулирование расширяется от командно-контрольных требований «конца трубы» (которые могут быть дорогими, но в действительности

сти не влиять на выбор материалов, технологий производства, разработки продукта или потребительского выбора) к предотвращению загрязнения и регулирования продуктов. Например, чрезмерно осторожное требование по установке очистного оборудования может заставить производственные предприятия тратить на такие технологии больше, чем следует. Однако чрезмерно осторожный стандарт процесса или продукта или, еще хуже, стандарт, который, как показали соответствующие данные, был экологически неудовлетворительным, перекашивает производство, разработку продукта, модели потребления на долгое время, поскольку он становится встроенным в промышленные системы, — процесс, известный под названием «*запертого*» (*lock-in*).

Исходная негибкость, встроенная в такие системы, увеличивается хорошо известной тенденцией регулировать создание и питание тех, кто получает выгоду от продолжающегося регулирования и последовательно выстраивает существенный барьер для последующей рационализации регулирования. Например, реформе законов по опасным отходам препятствует ряд заинтересованных групп, включающих связанные между собой юридические и инженерные фирмы, фирмы, производящие одобренные правительством технологии и оказывающие услуги по управлению отходами, и, более тонко, экологические группы, которые используют страх перед опасными отходами как инструмент для увеличения численности и сбора средств.

**Структура регулирующего менеджмента.** Традиционные командно-контрольные механизмы регулирования со значительным успехом применялись для решения очевидных экологических проблем. Однако необдуманное применение таких простых регулирующих инструментов в гораздо более сложных ситуациях часто может быть экологически и экономически дорого. Вместо того чтобы продолжать полагаться в основном на централизованные командно-контрольные методы, следует использовать более сложную систему экологического менеджмента, которая учитывает сложную природу рассматриваемых систем.

Обычно целенаправленное вмешательство уместно там, где воздействие на окружающую среду значительно в пространственном аспекте и по потенциальному ущербу и трудно или необратимо (использование соединений свинца в бензине, напри-

мер). С другой стороны, если воздействие на окружающую среду является результатом действий, распространенных по всей экономике, в отсутствие простого технологического решения, вероятно, будут предпочтительны гибкие политические методы, которые позволят найти подходящие граничные условия.

**Децентрализованные механизмы против централизованного микроменеджмента.** Другой общеполитический выбор — между опорой на децентрализованные механизмы, в основном информацию, и на операционную эффективность рынков, или централизованный микроменеджмент, в основном традиционные командно-контрольные методы экологического регулирования. Как правило, если рыночные механизмы используются в максимально возможной степени, получается выигрыш в области как экологической, так и экономической эффективности. В частности это происходит из-за того, что, как только начинают решать очевидные проблемы экологического воздействия на воздух, воду и здоровье людей, оставшиеся проблемы имеют тенденцию разнообразно проявлять себя во времени и пространстве. Временное и пространственное разнообразие также характерно соответствующим общественным и природным системам, таким, как доступность ресурсов и возможности размещения отходов, структура и устойчивость биологических сообществ, доступность инфраструктуры, культурные вопросы и технологические возможности. Такая скалярная изменчивость во многих случаях имеет тенденцию требовать осторожности при использовании централизованных механизмов.

**Определение подходящего уровня юрисдикции.** Политические юрисдикции являются созданиями человеческой культуры и истории, и не существует априорной причины, почему их границы должны отражать основные природные системы. Таким образом, неудивительно, что многие проблематичные экологические возмущения не совпадают с политическими границами: выбросы предвестников кислотных дождей в Соединенных Штатах или Китае вызывают кислотный дождь, например, в Канаде или Японии, и деградация водного бассейна, затрагивающая несколько суверенных государств, создает огромный правовой и политический конфликт. Иногда, однако, можно сократить ис-

кажения, вызываемые правовыми границами, которые не могут расширяться вместе с масштабом рассматриваемых проблем. Этого можно достичь как горизонтально (путем гармонизации политики между юрисдикциями равного правового статуса), так и вертикально (путем интеграции правовых структур вверх по юрисдикционным иерархиям). Гармонизация структур регулирующего управления между юрисдикциями равного статуса желательна по нескольким причинам. Во-первых, масштабы коммерции становятся все более региональными и глобальными, поэтому существенно различающиеся ограничения на экономическую деятельность в малом географическом масштабе могут вызвать существенное перемещение производства или создать протекционистские торговые барьеры. Также желательно избегать экспортирования риска. Там, где определенные вещества или вид деятельности запрещены или строго регулируются в одной области, но несмотря на это спрос на регулируемый элемент остается велик, он часто просто будет перемещен в юрисдикцию, где жесткость регулирования меньше.

### **7.3.2 ЮРИДИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

Ситуацию поясняет краткое обсуждение конкретных примеров, в которых существующие правовые структуры входят в конфликт с окружающей средой. Их следует рассматривать как примеры, этапы которых могут быть охарактеризованы сравнительно легко. Во-первых, признается, что отдельные политические структуры оказывают воздействие на окружающую среду, которое до этого времени игнорировалось. Во-вторых, существует период конфликта, когда ни специалисты по охране окружающей среды, ни сообщества, на которые направлена политика, не желают поступаться своими целями ради других. Наконец, существует период диалога, в течение которого складывается доверие и у каждой стороны возникает лучшее представление об этих вопросах. Это создает основу для решения конфликта.

Одним из примеров может служить закон о защите потребителей. Общая цель относящегося к окружающей среде закона о защите потребителя — поощрение полной открытости производителя и, таким образом, избежание обмана. Например, исполь-

зованные продукты, считающиеся худшими по сравнению с новыми, нельзя продавать как новые. В частности законы по защите потребителя требуют, чтобы любой использованный или содержащий использованные части продукт был ярко маркирован. Такая маркировка, что неудивительно, значительно сокращает цену, которую можно назначить, и может повредить торговой марке производителя или торговца. В результате создаются сильные мотивы против рециклирования использованных деталей, агрегатов или продуктов. Повторное использование продуктов или деталей, однако, может давать явные экологические выгоды и должно поощряться государственной политикой. Кроме того, в некоторых случаях, например в микросхемах памяти, существует мало различий между новой или использованной деталью; во многих других случаях использованной или отремонтированной детали более чем достаточно для того использования, к которому она предназначена. Хотя этот конфликт между законными целями политики еще не разрешен, существует несколько очевидных возможностей. Как временная мера в краткосрочном периоде может быть установлено правило: пока продукт, комплектующее или деталь удовлетворяют всем соответствующим спецификациям, неважно, использовались они или нет. В долгосрочном периоде вопрос, возможно, лежит меньше в плоскости закона, нежели в плоскости образования потребителей: потребители были воспитаны так, чтобы избегать использованных продуктов или ценить их меньше, и будет необходимо сообщать им о достоинствах последних.

Другой пример рассматривает политику государственных закупок, в которых стараются избегать обмана потребителей и сокращать возможность сговора по поводу закупки товаров худшего качества и дележе прибыли между организацией, осуществляющей закупку, и продавцом. Тем не менее нет причины, по которой здесь не могут быть применены возможные решения, используемые при защите потребителей: покупать в соответствии со спецификацией или покупать функцию или услугу, а не продукт. Практика государственных закупок также важна в связи с ее потенциальным положительным воздействием на поведение промышленности. Отдельные конечные пользователи представляют собой обширную неорганизованную группу, а большинство покупателей не совершают покупок по экологиче-

ским причинам. С другой стороны, правительства имеют значительную покупательную способность, сконцентрированную в одной организации, и таким образом могут в значительной степени управлять рынком. Практика государственных закупок может быть экологически предпочтительной, поэтому она может оказывать значительное положительное влияние на деятельность производителей и продавцов.

Как и в случае с торговлей и окружающей средой, существует несколько фундаментальных вопросов, связанных с взаимоотношениями между антимонопольной и экологической политикой. Антимонопольная политика стремится поддержать конкурентность рынков с помощью ограничения рыночной силы фирм, что обычно означает ограничение их сферы деятельности и масштабов. Однако многие экологические инициативы, такие, как приемка использованных продуктов, стремятся сделать прямо противоположное: расширить сферу деятельности и масштабы фирмы так, чтобы она отвечала за экологическое воздействие ее продуктов, выбор материалов, использование потребителем до возврата на рециклирование или починку. Таким образом, в то время как антимонопольная политика стремится к рынку без централизованного управления, экологическая политика стремится расширить управление фирм в интересах интернализации издержек негативных экологических внешних факторов.

Внутренний конфликт антимонопольной и экологической политики усиливается вопросом технологической эволюции. Вообще говоря, технологическая эволюция наиболее быстро осуществляется на конкурентных рынках с низкими барьерами для введения новых технологий. Такие рыночные структуры вполне могут поощряться антимонопольной политикой. С другой стороны, если фирмы должны внедрять экологически предпочтительные методы на протяжении всего жизненного цикла их продуктов, им придется разрабатывать средства связывания технологий, используемых в разные моменты жизненного цикла продуктов. Таким образом, технологии, используемые для разборки продукта после того, как потребитель расстается с ним, необходимо рассматривать при первоначальной его разработке (процесс, называемый пректировщиками достаточно разумно: проект, подразумевающий разборку). Связывание технологий подобным образом создает более сложную технологическую сис-

тему и сокращает способность какой-либо отдельной части этой системы быстро развиваться. Кроме того, это, как правило, требует разработки стандартов, если не активного управленческого контроля, по всему процессу — снова конфликтуя с основной целью антимонопольной политики.

## 7.4 ЭКОНОМИКА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

По способности формировать политику экономика, возможно, является наиболее влиятельной дисциплиной. Ее анализ сильно влияет на большинство формулировок национальной и международной политики, и неспособность поддерживать сильную экономику может стать катастрофической для качества жизни граждан страны. Кроме того, экономические показатели встроены в концепцию устойчивого развития, и развитие в целом и институты, существующие для поддержания развития, сильно опираются на экономический анализ и критерии. По-видимому, в будущем и экономика и промышленная экология существенно изменятся под воздействием взаимного обогащения; разумеется, для успешной реализации промышленной экологии крайне необходимы экономические теории. Вместе с тем изучение экономики без понимания промышленной экологии будет становиться все более бесплодным.

### 7.4.1 ОЦЕНКА

Традиционно многие экономисты рассматривали экономику как объективную, а не нормативную дисциплину. Некоторыми это было подвергнуто сомнению, в особенности членами экологического движения, которые заявляют, что основа экономического анализа — предположение от том, что все вещи могут быть оценены количественно в денежной форме — это фундаментальное утверждение из области этики, и притом неправильное. Предположение, что все имеет денежную стоимость, что нет ничего святого, очевидно, спорно, в особенности для тех, кто рассматривал бы биологические виды, кроме человека, или отдельные экосистемы с нормативной точки зрения. Эта двойственность взглядов привела к все больше осознаваемому феномену, где



«объективные» экономические исследования экологических вопросов просто отвергаются большими группами общественности, основываясь на твердой уверенности, что в таких ситуациях важен субъективный аспект.

Даже там, где можно согласиться, что количественное оценивание приемлемо с этической точки зрения, получение соответствующей меры — оценки — может быть сложным. Был разработан ряд инструментов, или методов оценивания, указанных ниже, для количественного определения такого сложного явления, как воздействие загрязнения на здоровье.

1. Метод *человеческого капитала*, который измеряет упущенные заработки в результате болезни или преждевременной смерти из-за подверженности загрязнению.
2. Метод *издержек заболевания*, который измеряет потерянные рабочие дни плюс медицинские и связанные с ними дополнительные издержки из-за подверженности загрязнению.
3. Метод *превентивных облегченных расходов*, который измеряет расходы на деятельность по избежанию или сокращению воздействия загрязнения: например установку новых систем доставки воды для избежания воздействия загрязненных грунтовых вод.
4. Метод *дифференцирования заработной платы*, который использует разность в заработной плате в областях, различающихся по уровню загрязнения, как суррогат скрытой ценности меньшего загрязнения для людей.
5. Метод *условно-опросного оценивания*, который использует вопросники для определения того, какую ценность придают люди избежанию загрязнения.
6. Метод *суррогатных действий*, который дает экономическую оценку экологическим благам путем оценивания предпринятых людьми действий, которые являются суррогатами самих благ. Например, метод *транспортных затрат* исследует, сколько людей хотели бы отправиться в путешествия к объектам с высоким качеством окружающей среды, таким, как переполненный парк.

Хотя все эти методы предлагают средства, с помощью которых экологическим воздействиям присваиваются долларовые ценности, они имеют некоторые недостатки и противоречивые

аспекты, поэтому ими следует пользоваться с умом и к их результатам нужно относиться с осторожностью.

Методы количественного определения иллюстрируют общий недостаток экономического анализа. Хотя такой подход упрощает анализ и может дать более точные и понятные результаты, это также означает, что факторы, которые не могут быть здесь количественно определены, на практике просто не включают в анализ. Даже когда рассматриваются качественные воздействия, существует тенденция придавать им меньший вес. Таким образом, как методы оценки, так и экономический анализ следует использовать с осторожностью там, где значимо моральное и этическое содержание вопроса, и там, где рассматриваемые системы имеют важные качественные аспекты.

#### 7.4.2 СТАВКИ ДИСКОНТА

Стандартный экономический анализ утверждает, что деньги сегодня стоят больше, чем та же сумма денег завтра, из-за инфляции и прибыли, которую можно ожидать, если деньги инвестировать. Это выражается с помощью применения ставки дисконта к будущим прибылям в сравнении с текущими. Математически это представляется равенством, которое дает настоящую стоимость  $A$  суммы  $V$ , которая будет доступна через  $t$  лет, где  $i$  — ставка дисконта:

$$A = V(1+i)^{-t}. \quad (7.1)$$

Использование ставок дисконта для оценки ресурсов и планирования инвестиций в бизнесе и правительстве широко распространено и во многих случаях оправданно. Без такого подхода было бы сложно сравнивать инвестиции, которые требовали расходов и генерировали потоки доходов в различные периоды времени. Очевидно, однако, этот подход также побуждает использовать ресурсы как можно скорее, а не сохранять их для будущего. Если доход на инвестиции сам инвестируется должным образом так, что обеспечивает поток доходов во времени, разумеется, будущее может больше выиграть от возникшего экономического роста, чем оно выиграло бы, если бы ресурсы сохранялись. Таким образом, проблема оказывается не в том, чтобы сразу же отвергнуть концепцию, но в понимании того,

при каких условиях этот анализ полезен. В частности ставки дисконта следует применять с осторожностью в случаях, когда затрагиваются существенные вопросы социальных ценностей и внешних факторов.

### 7.4.3 АНАЛИЗ ВЫГОД-ЗАТРАТ

В своем самом широком смысле анализ выгод-затрат представляет собой любую методологию, формальную или неформальную, которая пытается всесторонне оценить выгоды и издержки определенных действий, чтобы определить, следует ли эти действия совершать. В приложении к экологическим вопросам обычная сложность заключается в том, что трудности в выделении и количественном определении всех важных факторов эндемичны, свойственны определенной местности. Соответственно следует рассматривать уместность предположений, требуемых для оценивания интересов сторон, осуществляющих (или финансирующих) оценку, распределительного воздействия предлагаемых действий (кто выигрывает и кто теряет), и связанных с этим значительных неопределенностей.

Существует несколько тонкостей, связанных с анализом выгод-затрат. Важно знать, например, включает ли оценка социальные издержки и выгоды или только экологические. Если включает, то важно понимать, какие ценности заинтересованных сторон повлияли на процесс количественного определения, поскольку социальные издержки в особенности трудно определить количественно и они сильно ценностно отягощены. Также важно знать, была ли оценка выгод-затрат связана с какой-либо научной оценкой рисков или возможных последствий, и если да, то были ли точно отражены неопределенности и вероятности, внутренне присущие предшествующим исследованиям. Понимание масштаба этих вопросов помогает промышленному экологу интерпретировать результаты оценки выгод-затрат и определять, какие неотрицательные элементы следует включать как часть общего процесса принятия решений.

#### 7.4.4 ЗЕЛЕНый РАСЧЕТ

Информация, касающаяся экономических показателей фирмы, обычно собирается в системах управленческого учета. Традиционно такие системы рассматривали экологические издержки — даже реальные, количественно определяемые, такие, как издержки утилизации отходов — как накладные, и таким образом они не разбивались в соответствии с какой-либо деятельностью, продуктом, процессом, материалом или технологией. Результатом было то, что менеджеры, не имея доступа к информации по экологическим издержкам, связанным с принимаемыми ими решениями, не имели ни стимула, ни данных, необходимых для сокращения этих издержек.

Решение, называемое *зеленый расчет* (*green accounting*), просто: разработать системы управленческого учета, которые разбивают такие издержки, приписывают их вызвавшей их причине и, таким образом, обеспечивают возможность рационально управлять ими. Однако на практике это может быть сложной задачей. Например, во многих сложных производственных операциях разработка сенсоров и систем, определяющих вклад различных процессов и продуктов в поток жидких отходов — задача непростая, включающая инженерное проектирование и капитальные инвестиции. Кроме того, менеджеры имеют тенденцию сопротивляться дополнительным элементам бизнес-процессов, за которые им будет необходимо отвечать. Также оценка «потенциальных издержек», например будущих обязательств по регулированию сегодняшней практики утилизации отходов, может вызывать сопротивление из страха возникновения чрезмерных юридических обязательств (могут утверждать, что компания, которая предвидела потенциальные будущие обязательства, таким образом признавала, что ее планируемое поведение было несоответствующим или нелегальным). Тем не менее ясно, что разработка надлежащих систем управленческого учета и обеспечивающих их информационных подсистем крайне необходима для создания обратных связей экологически «правильного» поведения корпораций и в настоящий момент осуществляется во многих из них.

Зеленый расчет фундаментально отличается от идеи *социального оценивания (social costing)*. Она подразумевает, что фирмы должны включить в свои системы финансового учета свою долю соответствующих экологических издержек, в настоящий момент не включенных в цены. Количественное определение здесь сложно и спорно и вероятно, что сопротивление менеджеров фирмы будет высоким. В сущности зеленый расчет требует от менеджеров делать свою сегодняшнюю работу более рационально, в то время как социальное оценивание старается переопределить саму природу фирм.

Процедуры зеленого расчета также важны на национальном уровне. Традиционно национальные экономические счета уделяют внимание валовому национальному продукту (ВНП). ВНП обычно определяется как агрегированный денежный спрос на все продукты, включая потребительские товары, инвестиции, государственные расходы и расходы на экспорт. ВНП и похожие системы национальных счетов часто используются как мерило индивидуального экономического благосостояния или, что более спорно, как мерило качества жизни. По мере того как экологические вопросы становились более важными, такие метрики все более критиковались за их неспособность учитывать износ так называемого «природного капитала», который используется для производства оцениваемых в денежных единицах активов. С технической точки зрения системы, основанные на Системе национальных счетов ООН (СНС), международном стандарте, рассматривают землю, минеральные и лесные ресурсы как активы в национальном запасе капитала, но не рассматривают их в счетах доходов и продуктов. Соответственно если используется природный ресурс, счета национального дохода и продуктов не показывают соответствующего износа. Однако все чаще утверждают, что если истощаются лесные или минеральные ресурсы, счета национального дохода должны отражать это сокращение ценности природного актива, даже если они могут отражать денежный доход, полученный от этого истощения. Неучет такого фактора в сущности дает нулевую оценку существующему лесу до тех пор, пока он не будет истреблен.

### 7.4.5 ЗАМЕНЯЕМОСТЬ В ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЬ ДОПОЛНЕНИЯМ

Еще одно предположение, общее для стандартного экономического анализа, — заменяемость между ресурсами и экономическими факторами, основанная на денежной стоимости, которая, в свою очередь, отражает относительную редкость. Обычно это обоснованно и демонстрировалось много раз: в то время как один фактор становится редким и, таким образом, более дорогим, его заменяет другой. Сложность с этим принципом возникает не потому, что он неправилен, но потому, что он выполняется так часто, что стал аксиомой, а не предположением. Другими словами, он предполагает, что всегда существуют заменители. Это стало олицетворением непоколебимого технологического оптимизма. Именно это и сомнительно. Например, элемент гадолиний, который обладает свойством нагреваться в магнитном поле, использовался для разработки высокоэффективной технологии охлаждения (максимальная эффективность обычного холодильника — около 40%; холодильник на гадолинии имеет теоретическую эффективность около 60%). С учетом растущего спроса на холодильники, в особенности в быстро развивающихся тропических странах, и отсутствия других материалов с таким свойством гадолиний мог бы быть дополнением эффективного охлаждения при отсутствии (пока еще не найденных) заменителей.

### 7.4.6 ЭКСТЕРНАЛИИ

Экстернальный эффект — это просто издержки, положительные или отрицательные, которые не учитываются в экономической системе с помощью цен. Например, когда заводу разрешается бесплатно сбрасывать токсичные материалы в реку, он создает отрицательный экстернальный эффект, налагая на общество издержки, которые оно не должно платить. Когда ниже по течению рыба погибает, местные рыбаки становятся, естественно, беднее, чем они были бы в противном случае, но цена, которую платит завод за выброс своих отходов, не отражает этих издержек.

Экстерналии важны, поскольку цель значительной части экологического менеджмента и регулирования — их сокращение, часто менее эффективным способом, чем просто изменение

цены. Например, регулирование возврата использованных продуктов можно рассматривать как усилие по интернализации производственной фирмой экологических издержек, связанных с управлением воздействием использованных продуктов на окружающую среду. Законы о чистоте воздуха, которые предписывают определенные технологии контроля, можно рассматривать как усилия по интернализации издержек, связанных с контролируемыми выбросами фирмы. Определение экологических требований в контрактах по государственным закупкам — это другая политика; ее основной механизм заключается в интернализации экстерналий в рыночную систему.

В то время как интернализация экстерналий желательна, на практике существует ряд барьеров. Изменение структуры любой цены для интернализации издержек, которые ранее не учитывались, почти всегда будет неблагоприятно влиять на некоторых посредников, которые поэтому, как ожидается, будут выступать против этих действий. Таким образом, интернализировать внешние эффекты путем прекращения выдачи экологически вредных субсидий и увеличения налогов на экологически неблагоприятные действия так, чтобы их рыночная цена более адекватно отражала их полные издержки, почти всегда будет политически трудно. Например, любые усилия по увеличению налогов на бензин в Соединенных Штатах для более точного отражения социальных издержек оказываются политически невозможными.

## 7.5 ФИНАНСЫ, КАПИТАЛ И ИНВЕСТИЦИИ

Большинство экологов имеют тенденцию подозрительно относиться к рынкам капитала и финансовым рынкам, если они вообще о них думают. Студенты — промышленные экологи не могут позволить себе этого, потому что именно доступность капитала и его продуктивное использование для поддержки развития экологически предпочтительных технологий обещают сократить воздействие человечества на окружающую среду, в то время как оно движется к беспрецедентным уровням богатства и численности.

Важность инвестиций для политики промышленной экологии очевидна: если продвижение к более устойчивой глобальной экономике требует быстрой технологической эволюции, то необходимо финансировать новые технологии и, таким образом, привлекать инвестиции. Суммы, необходимые для распространения новых технологий, могут обескураживать. Например, по оценке Мирового бизнес-совета, доведение целлюлозно-бумажной промышленности до лучших отраслевых стандартов потребовало бы вливания капитала по всему миру по крайней мере 20 млрд долл. — и это без учета рассмотрения технологической эволюции выше текущего основного сценария. Таким образом, инвестиции и технологическая эволюция не только синергичны, но неразрывно связаны. Например, среда причин успеха Кремниевой Долины (Silicon Valley), одного из наиболее технологически инновационных регионов мира, — не имеющий равных доступ к венчурному капиталу в этой области. И наоборот, на многих европейских и японских рынках новым венчурным предприятиям гораздо труднее получить капитал, поэтому там соответственно меньше маленьких фирм с сопутствующими им инновациями.

Организация крепких финансовых рынков и способность привлекать достаточный капитал представляют сложную проблему для развивающихся стран. Раньше значительная часть этого необходимого капитала обеспечивалась иностранными инвестициями от правительств развитых государств или от многосторонних финансовых организаций, таких, как Всемирный мировой банк. Позднее основная масса таких инвестиций стала поступать от больших транснациональных фирм в форме прямых зарубежных инвестиций (foreign direct investment, FDI). Рассматриваемые суммы могут быть значительными: в 1994 г. около 90 млрд долл. поступило в развивающиеся страны; FDI только в Китай за последние несколько лет составляли от 30 до 40 млрд долл. ежегодно. Эти инвестиции важны, поскольку они не только помогают создавать капитальную основу для местной промышленности, но поддерживают передачу современной технологии и современных способов ведения бизнеса — каждый из которых более экологически предпочтителен, чем существующие альтернативы.



## **Подход к экологической политике в Нидерландах**

Люди имеют тенденцию рассматривать правительства Германии, Соединенных Штатов и, возможно, Швеции как наиболее продвинутые в области экологического регулирования. Однако наиболее сложным, всесторонним подходом к интеграции окружающей среды и технологии был и без сомнения остается подход Нидерландов, что выражено в их Национальном плане экологической политики (1989 г.), Дополнении к Национальному плану экологической политики (1990 г.), Национальном плане экологической политики 2 (1994 г.) и дополнительных документах по реализации, выпущенных в поддержку планов<sup>1</sup>.

Планы явно основаны на цели достижения устойчивого развития в Нидерландах в течение одного поколения, причем устойчивое развитие определяется, как в Отчете комиссии Брундланд: «Развитие, которое удовлетворяет потребностям настоящего, не нарушая возможности будущих поколений удовлетворять свои потребности». Подход понятен: хотя главную роль играет Министерство жилья, физического планирования и окружающей среды, ясно осознается необходимость включения всех других секторов, в особенности транспортного и жилищного, путем включения соответствующих министерств и советников в процесс планирования. Целевые сферы деятельности для этих планов включают сельское хозяйство, торговлю и транспорт, промышленность и очистительные заводы, продажу газа и электроэнергии, торговлю строительными материалами, потребительскую торговлю, торговлю природоохранным оборудованием, исследования и образование и «общественные организации» (экологические группы, союзы и т.д.).

---

<sup>1</sup> Планы и другие документы можно получить в Министерстве жилья, физического планирования и окружающей среды: Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Department of information and International Relations, P.O. Box 20951 EZ, The Hague, The Netherlands. Большинство важных материалов доступны в Англии.

На всех стадиях анализа в явном виде рассматривается экономическое воздействие предлагаемых изменений. Кроме того, ясно делается акцент на сотрудничество с промышленностью и посредниками по разработке и внедрению отдельных предложений, причем целью ставятся правильные с научной и технической стороны решения. Этот подход, основанный на сотрудничестве, поддерживается соглашениями между промышленностью и правительством для достижения экологически желательных результатов, а не законодательным процессам, где это возможно.

В Нидерландах, которые делят большую часть своих воздуха и воды с другими странами в силу региональных особенностей воздушной и водной среды, не возникает иллюзий в отношении того, что сложная и трудноопределимая идея устойчивого развития может быть достигнута маленькой страной за несколько лет. Но выбор устойчивого развития как политической цели сделал возможным гораздо более сложный междисциплинарный подход, чем это было бы в противном случае. Этот выбор сконцентрировал внимание критики на отыскании подходящих измерителей возможного прогресса на пути к устойчивости. Он также привел к более сложному, всестороннему подходу к риску, чем тот, что обычно применяется при традиционной оценке экологического риска. Как отмечалось в первоначальном плане, «измерение устойчивого развития — непростая задача, но результаты исследований по этой теме необходимы для обеспечения обратной связи».

Подход Нидерландов уникален, он прокладывает новый путь и для промышленной экологии достоин подражания. Явное осознание необходимости фундаментальных перемен в существующих экономических структурах достойно похвалы, но это все еще слишком редкое явление на национальном уровне.

Эти новые источники капитала в развивающихся странах имеют значение по нескольким причинам. Во-первых, они подразумевают: одна из выгод глобализирующейся экономики заключается в том, что технологические улучшения, однажды принятые мировым классом транснациональных компаний, могут распространиться в развивающиеся, а также развитые стра-

ны как элемент глобальных инвестиционных схем. Во-вторых, они снова концентрируются на ключевой роли промышленных фирм как агентов не только развития, но, по крайней мере потенциально, экологической эффективности и даже устойчивости. В третьих, они подтверждают сильную потенциальную связь между финансовыми институтами и экологическими показателями: EDI и связанные многосторонние потоки заимствований служат важными механизмами, с помощью которых могут распространяться экологически предпочтительные методы. Резюмируя, можно сказать, что эволюция технологий в развитых или развивающихся странах должна и будет финансироваться, только если она прибыльна на конкурентном рынке капитала.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., *Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Bhagwati, J., The case for free trade, and H.E. Daly, The perils of free trade, in *Debate: Does free trade harm the environment?*, *Scientific American*, 269(5), 41–57, 1993.

Costanza, R., ed., *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*, New York: Columbia University Press, 1991.

Crocker, D.A., and T. Linden, eds., *Ethics of Consumption: The Good Life, Justice, and Global Stewardship*, Lanham, MD: Rowan and Littlefield, 1998. *Environmental Science and Technology*, Special Issue on Valuing the Environment, 34, 1381–1461, 2000.

Gentry, B.S., *Private Capital Flows and the Environment: Lessons from Latin America*, Cheltenham, U.K.: Edward Elgar, 1998.

Weiss, E.B., *In Fairness to Future Generations: International Law, Common Patrimony, and Intergenerational Equity*, Tokyo, Japan: The United Nations University, 1989.

## УПРАЖНЕНИЯ

**7.1** Вы — специалист-эколог в химической фирме, производящей на продажу полимеры. Правительство страны, в которой расположено большинство ваших производственных мощностей, только что ввело новый тариф на потребление электроэнергии, значительно более высокий, чем в любой другой развитой стране.

- (a) Приведите и оцените позиции, которые ваша фирма может занять в ответ на эту политическую инициативу.
  - (b) Какую из них вы бы выбрали и почему?
  - (c) Какие данные об операциях вашей фирмы были бы полезны для того, чтобы помочь вам разработать свои позиции?
  - (d) Какие организационные элементы фирмы нужны для того, чтобы помочь вам реализовать ваши позиции?
- 7.2 Ваша фирма владеет правами на добычу полезных ископаемых, которые в настоящий момент оцениваются в 100 000 долл. в (политически) относительно нестабильной стране.
- (a) При ставке дисконта 7% сколько будут стоить ваши права через 5 лет? Через 10 лет?.
  - (b) Какие факторы вы бы рассматривали при принятии решения о том, когда использовать права на добычу полезных ископаемых с точки зрения (1) фирмы, которая владеет ими, (2) правительства страны, (3) сообщества вокруг залежей руды?
- 7.3 Организация Американских Штатов (OAS) существует для обеспечения взаимной обороны против агрессоров в Северной и Южной Америке. В отличие от НАТО OAS не включила экологических факторов в свою деятельность. Исследуйте две эти организации и предложите группу экологически ориентированных действий для OAS.

ЧАСТЬ III

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## Г Л А В А 8

# Проектирование и разработка промышленных продуктов

### 8.1 ПРОБЛЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ

Одна из наиболее сложных проблем современной технологии — проблема, с которой сталкивается проектировщик нового продукта. Продукты сами по себе могут быть невероятно сложными, некоторые могут иметь более миллиона отдельных деталей (рис 8.1). Однако разработка продукта — не единственная задача конструкторов. Их задачи также включают следующее.

- *Опрос покупателей, чтобы получить идеи по характеристикам продукта.* Существует деловой афоризм: продукты должны не просто удовлетворять потребителя, они должны доставлять ему наслаждение. Это высокий стандарт, и он требует очень хорошего понимания потенциальных покупателей и их желаний.
- *Изучение конкурирующих продуктов.* Новая конструкция должна соответствовать конструкции конкурентов или быть лучше, в противном случае продукт ждет неудача.
- *Соответствие предписаниям.* Должны рассматриваться безопасность продукта, требования по маркировке, рециркулируемость и множество других юридически обязывающих ограничений.
- *Сохранение окружающей среды.* Вопросы проектирования, которые имеют экологические последствия, все чаще становятся центром внимания покупателей, регулирующих органов и производственных менеджеров.
- *Организация производства продукта, который привлекателен, прост в производстве, доставляется вовремя, имеет конкурентоспособную цену.* В современном деловом мире чрезвычайно важны одобрение покупателями, эффективное производство и своевременность.

Хотя между методами проектирования много общего, есть также и существенные отличия. К важным отличиям между секторами промышленности относится продолжительность жизни их продуктов (табл. 8.1). При создании некоторых ожидают, что они будут работать десять лет и более. Жизнь

Вернуться в каталог учебников

они будут работать десять лет и более. Жизнь других измеряется месяцами и неделями. Тем не менее другие используются лишь однажды. Очевидно, конструктор должен использовать различные подходы к этим различным типам продуктов, поскольку дело идет о таких свойствах, как долговечность, выбор материалов, переработка и рециклируемость.

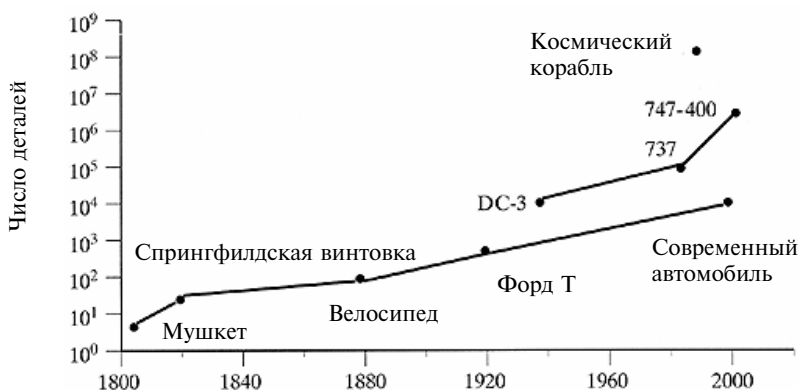


Рис. 8.1

Увеличение сложности промышленных продуктов во времени (Адаптировано по рисунку Пола Шенга (Pale Sheng), University of California, Беркли.)

Для выполнения предписанных им задач у конструкторов есть обширный инструментарий, разработанный за много лет. Многие из этих методов были разработаны до того, как вопросы охраны окружающей среды стали так важны, как сейчас. В этой главе и нескольких следующих мы представляем и обсуждаем несколько популярных инструментов проектирования с учетом охраны окружающей среды или экологических аспектов. Мы концентрируемся не на инструментах, используемых в основном в реализации продуктов, но на тех, в центре внимания которых находятся концепции (определение продукта, решения, связанные с продуктом, и разработка продукта).

## 146 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ТАБЛИЦА 8.1 Производственные секторы и их продукты

Производство	Примеры продуктов	Срок жизни
Электроника	Компьютеры, беспроводные телефоны, видеокамеры, телевизоры, портативные звуковые системы	Долгий
	Автомобили, самолеты, экскаваторы, снегоуборочные машины	Долгий
Потребительские товары длительного пользования	Холодильники, посудомоечные машины, мебель, печи, водонагреватели, кондиционеры, паркет	Долгий
Промышленные товары длительного пользования	Инструменты, моторы, вентиляторы, лента конвейера, упаковочное оборудование	Долгий
Медицинские товары длительного пользования	Больничные кровати, оборудование MRI, инвалидные коляски, моющаяся одежда	Долгий
Потребительские товары недлительного пользования	Карандаши, батарейки, бижутерия, пластиковые контейнеры, игрушки	Средний
Одежда	Обувь, ремни, блузы, брюки	Средний
Выбрасываемые медицинские продукты	Термометры, продукты из донорской крови, лекарства, одноразовая одежда	Разовое использование
Выбрасываемые продукты потребления	Антифриз, бумажные продукты, смазка, пластиковые мешки	Разовое использование
Продукты питания	Замороженные обеды, консервированные фрукты, сухие завтраки, безалкогольные напитки	Разовое использование

## 8.2 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОНСТРУКТОРОВ ПРОДУКТОВ

### 8.2.1 МАТРИЦА ВЫБОРА ПЬЮ

Матрица выбора Пью (Pugh Selection Matrix) разработана для отражения характеристик возможной конструкции продукта и для оценки того, насколько хорошо этим характеристикам удовлетворяют выпускаемые корпорацией продукты и альтернативные новые проекты. Пример достаточно запутанной диаграммы, используемой в этом процессе, дается на рис. 8.2; в качестве примера продукта рассматривается комнатный кондиционер.



В левой части матрицы приведены реальные и желательные характеристики комнатных кондиционеров воздуха. Этот список может быть настолько обширным, насколько команда конструкторов решит его таким сделать; мы даем здесь только достаточно деталей для того, чтобы показать, как работает этот прибор. Рисунок 8.2. включает группу характеристик, которые определяют экологические аспекты конструкции; это элемент традиционно не включается в матрицу Пью.

Как только составлен список характеристик, следующим шагом будет разработка целей проектирования для каждой из характеристик, которые команда конструкторов желает учесть, и нескольких альтернативных сценариев. Группу покупателей просят проранжировать характеристики в соответствии с их относительной важностью (по шкале — высокая, средняя, низкая, или 9, 3, 1) и оценить предложенную конструкцию и конструкции основных конкурентов по шкале 1—5 их соответствия выбранным характеристикам.

Когда это будет сделано, проектировщики смогут оценить каждую альтернативу. В каждой точке матрицы рассматриваемая конструкция оценивается знаками «+» (превышает цель), «S» (приблизительно равен цели) или «—» (не достигает цели). Имея эту информацию, команда может перейти к выбору одной альтернативы как цели проектирования и к проектированию в деталях.

## **8.2.2 ДОМ КАЧЕСТВА**

Аналитический инструмент, который может послужить альтернативой или дополнением к матрице выбора Пью, — Дом качества. Этот инструмент, показанный на рис. 8.3, так же как и матрица Пью, сфокусирован на покупателе, но погружается в процесс проектирования глубже. Вначале открывается «комната покупателя», где указываются нужные покупателям характеристики продукта и их относительная важность. Затем добавляется «экологический фундамент», в котором приводятся желательные экологические атрибуты. Потенциальные инженерные характеристики добавляются в «комнате проектирования».

После того как определены фундамент и характеристики «комнат», важность каждой характеристики оценивается по шкале

Характеристики	Важность для покупателя	Цели проектирования	Альтернативы				Опрос покупателей				
			A	B	C	D	1	2	3	4	5
Характеристики продукта	Доступность	<\$253,0	+	+	S	+	▽	□	□	●	
	Легкость в обращении	<40 фунтов	-	+	S	+	□	▽	□	●	
	Бесшумность	Максимум 30 NC * («критерий шума»)	+	+	S	-	□	□	□	□	
	Отсутствие грохота	Максимум 30 RC *	S	S	S	+	□	□	□	●	
	Легкость в обслуживании	Вращающийся момент 20 дюймов/фунт	-	-	-	+	□	□	□	▽	
	Поток воздуха	200—3000 куб. футов в мин.	S	S	S	S				●	
	Звук	Максимум 30 RC * («комнатный уровень»)	-	-	+	S	▽	□	□	●	
	Течь	100 куб. футов в мин. при 1" оборота	+	+	-	S	▽	□	□	●	
	Нагревание	1 кВт на 200 куб. футов в мин.	-	+	S	-	▽	□	□	●	



## 150 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

высоко (H), средне (M) и низко (L). Затем потенциальные особенности продукта связываются с альтернативным подходом к проектированию, оцениваемым в «комнате взаимоотношений». Здесь указывается степень, в которой инженерный подход соответствует желаемым характеристикам, определенным покупателями по шкале сильно (S), средне (M) и слабо (W) для принятия эффективных проектных решений. Пустые элементы матрицы отражают инженерные характеристики, которые не воздействуют на покупателей, или экологические характеристики.

Дом качества завершается сооружением «матрицы крыши». Записи в этой матрице отражают, где отдельная цель проектирования усиливает другие (X) или где цели проектирования находятся в конфликте (O). Если «комната проектирования» разработана достаточно детально, «матрица крыши» часто может помочь в выборе подходов к проектированию, способных удовлетворить потребителя, и темам, поднимаемым экологическим фундаментом.

### 8.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ X

Определение продукта — то, для чего продукт будет использоваться, как он будет функционировать, каковы будут его свойства, разброс возможных издержек и (если это возможно) эстетических атрибутов — обеспечивает конструкторов значительным диапазоном характеристик, которые необходимо попытаться оптимизировать одновременно.

Однако современные конструкторы имеют гораздо более длинный список, поскольку им необходимо рассматривать связанные характеристики продуктов, которые в итоге могут определять успех или неудачу продукта. Парадигма такого анализа — «Проектирование с учетом X» («*Design for X*», *DfX*), где X может быть любым из числа атрибутов проектирования, приведенных ниже.

*Сборка (A)*: Собираемость, включая легкость и безошибочность сборки, сборку общих деталей и т.д.

*Соответствие (C)*: Соответствие регулированию, необходимое для производства и использования, например электромагнитная совместимость.

*Разборка (D)*: Эффективность разборки продуктов для починки, рециклирования или утилизации.



## 152 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

*Окружающая среда (E).* Этот компонент DfX и философия, на которой он основан, составляют основной предмет этой книги.

*Производство (M).* Рассмотрение того, насколько хорошо разработку можно интегрировать в такие заводские процессы, как производство и сборка.

*Логистика материалов и пригодность деталей (MC).* Проблемы касаются передвижения материалопотока и менеджмента, надежных поставок комплектующих и материалов.

*Надежность (R).* Рассмотрение таких проблем, как электростатические разряды, сопротивление коррозии и работа при переменных условиях окружающей среды.

*Безопасность и предотвращение помех (SL).* Соблюдение стандартов безопасности и дизайн конструкторских решений для предотвращения неправильного использования.

*Сервис (S).* Проблемы обеспечения первоначальной установки, а также починки и модификации продуктов на месте или в сервисных центрах.

*Тестируемость (T).* Разработки для облегчения тестирования на заводе и на местах на всех уровнях сложности систем: устройств, монтажных плат и систем.

Основная характеристика, которая отличает DfE от традиционного соответствия экологическому регулированию, заключается в том, что ее масштаб распространяется гораздо дальше заводских стен. Это учитывается при рассмотрении всего жизненного цикла продуктов и процессов (рис. 8.4). На этапе 1, предпроизводственном, поставщики обеспечивают (обычно) сырьевыми ресурсами, производственными материалами и комплектующими. Этап 2 — производственная деятельность под непосредственным контролем корпорации, выпускающей рассматриваемый продукт. Этап 3, доставка продуктов, обычно находится под контролем производителя, хотя сложные продукты, содержащие много компонентов, могут включать глобальную сеть поставщиков, дилеров и специалистов по установке. Этап 4, этап потребления, подвержен влиянию того, как разрабатываются продукты, и степени продолжающихся производственных взаимодействий. На этапе 5 продукт, больше не удовлетворяющий из-за того, что стал ненужным (разрушение компонентов, изменившихся бизнес- или персональных решений), чинится, рециклируется или выбрасывается.

Практика DfX, которая включает все аспекты жизненного цикла, уже осуществляется ведущими производственными фирмами.

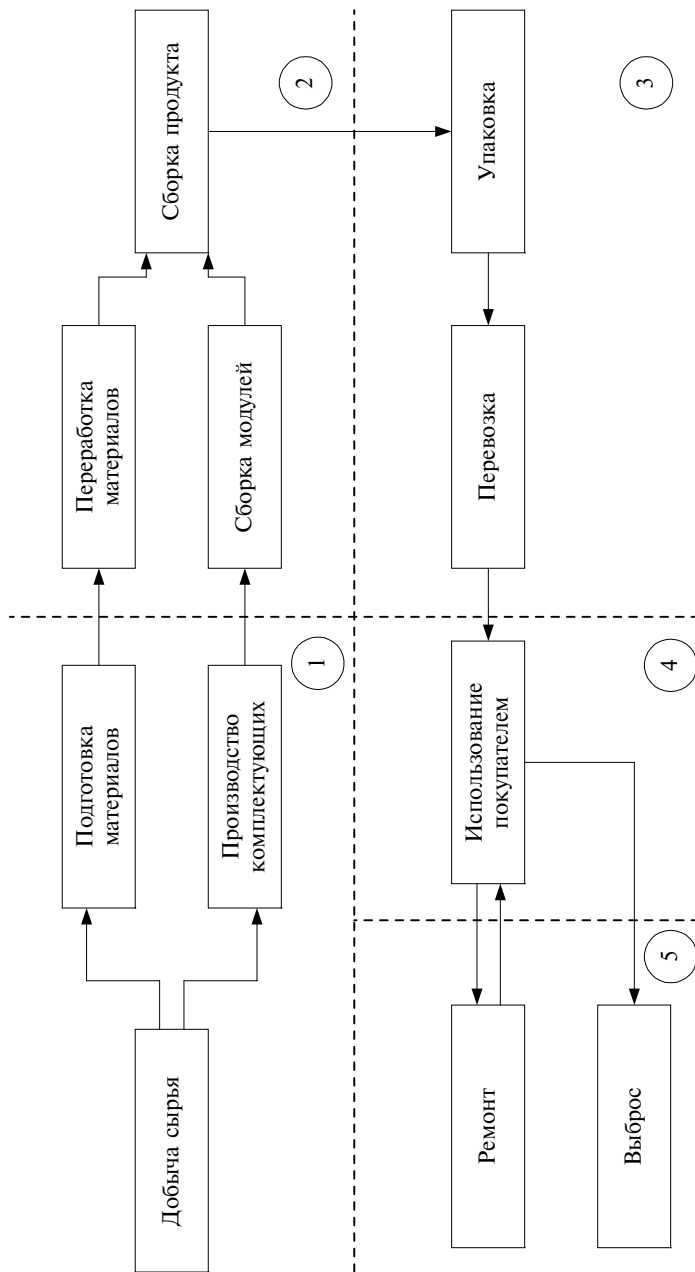


Рис. 8.4  
Деятельность на пяти этапах (номера в кружках) жизненного цикла продукта, производимого для потребительского использования. В экологически ответственным продукте экологические воздействия минимизируются на каждой стадии, а не только на стадии 2

## 154 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Легко убедиться в том, что экологические принципы интернализируются в производственную деятельность в краткосрочном периоде, позволяют разработка и использование *проектирования с учетом требований окружающей среды* (*Design for Environment, DfE*) как модуля существующих DfX-систем. Кроме того, то, что DfE должно стать частью существующего процесса проектирования, действует как благотворное ограничение, требующее, чтобы методы DfE и итоговые рекомендации можно было реализовать в реальном мире.

Все более важным аспектом процесса проектирования становится степень, в которой он связан с вычислительной техникой. Большинство современных конструкторских команд используют программное обеспечение CAD/CAM (Компьютерное проектирование и производство с помощью компьютера), которое может включать в разработку модули стандартных комплектов, проверять проект на пространственные допуски, выдавать списки материалов и т.д. Поскольку DfE можно интегрировать в эти инструменты проектирования, оно автоматически станет частью процесса физического проектирования. Включение DfE в CAD/CAM далеко от универсального, и нужно приложить усилия, чтобы довести его до высокого уровня.

### 8.4 КОМАНДЫ КОНСТРУКТОРОВ

Концентрирование внимания на покупателе, издержках и на всех проблемах, поднимаемых DfX, требует, чтобы проектирование продукта и процесса больше не осуществлялось изолированной группой инженеров. Напротив, современная промышленная практика должна формировать команды конструкторов, составленные из специалистов разного профиля. Пример структуры такой команды приведен на рис. 8.5. В дополнение к соответствующему сочетанию специалистов-инженеров такая команда часто включает экспертов-экологов, инженеров по упаковке (т.е. тех, кто может определить, насколько безопасно и недорого продукты могут быть доставлены покупателям), инженеров по производству (т.е. тех, кто понимает сложности производства продукта), специалистов по маркетингу, специалистов по бизнес-планированию и, возможно, специалистов по финансам и закупкам. В ответ на запросы современной сложной экономики многие команды конструкторов включают членов стратегических партнерств, например главных поставщиков и покупателей.



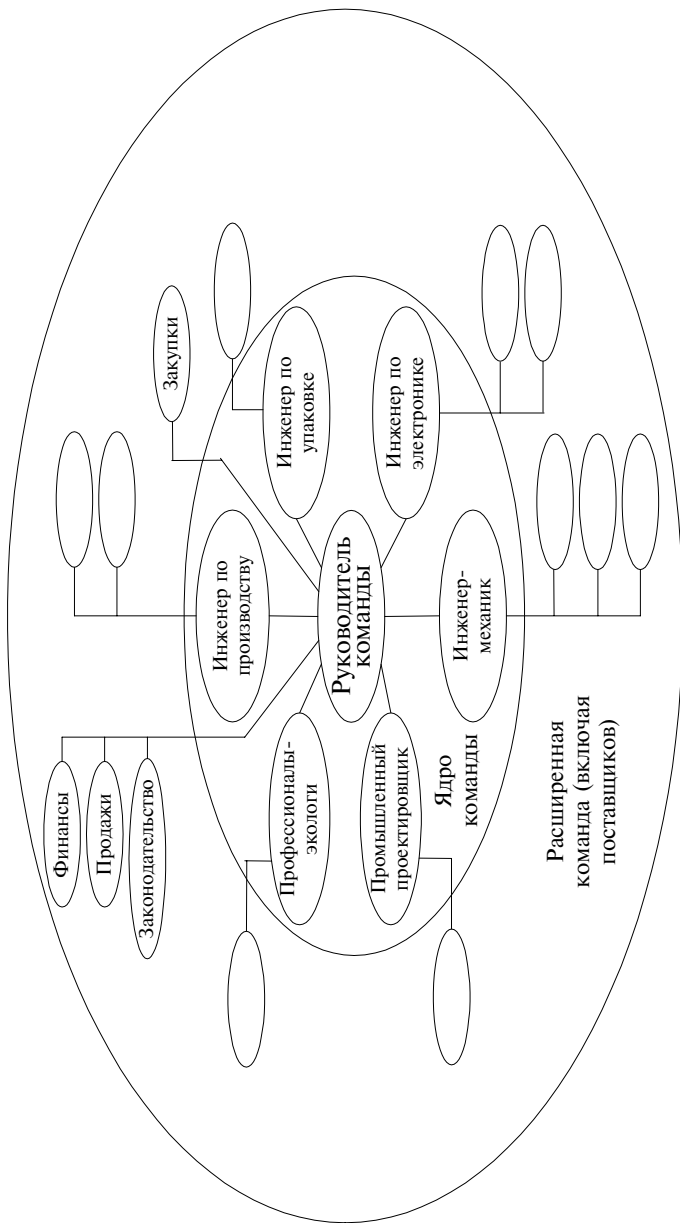


Рис. 8.5

Структура типичной команды конструкторов для разработки электромеханического продукта (Адаптировано из К. Т. Ulrich and S.D. Eppinger, *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill, 1995.)

## 156 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Практика использования разносторонних команд для проектирования продуктов значительно усложняет процесс на его первоначальных стадиях. Однако выгоды определяются именно ранним рассмотрением всего разнообразия свойств, которые в конечном счете определяют успех или неудачу продукта. Большинство особенностей проектирования продукта умышленно замораживаются на очень ранней стадии процесса проектирования. Присутствие специалиста по промышленной экологии в каждой команде конструкторов, возможно, станет единственным и наиболее эффективным способом улучшить экологическую ответственность продукта в нашем современном технологическом обществе.

### 8.5 ПРОЦЕСС РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКТА

Современные производственные менеджеры стимулируют проектировщиков и разработчиков, чтобы те генерировали многочисленные идеи, в надежде, что в итоге получится несколько настоящих успешных продуктов. Однако развитие каждой идеи от концепции до производства продукта слишком дорого, чтобы быть возможным, и поэтому был разработан структурированный *процесс реализации продукта (product realization process, PRP)*, чтобы направлять бизнес-решения на каждом этапе этого пути.

Существует ряд версий PRP, некоторые называются IDS (*система интегрированной разработки, integrated development system*), некоторые — IPD (*разработка интегрированного продукта, integrated product development*). Они различаются по уровню детализации и шагов последовательности, и многие корпорации разработали руководства для помощи своим конструкторским командам. Все разделяют общий подход, если не каждый отдельный шаг, изображенный на рис. 8.6. На рисунке изображены восемь этапов реализации продукта, от идеи до того, как продукт станет ненужным. Переход от одного этапа к следующему проходит через «ворота» (на рисунке — номера в кружках), где менеджер решает, продолжать ли разработку продукта. В формальной структуре процесса реализации продукта проводится проверка, в какой момент идея разрабатываемого продукта последовательно достигает каждого ворот. Проверяющая команда обычно включает представителей подразделений проектирования, производства, закупок, маркетинга и других соответствующих организаций в рамках корпорации. Результат проверки определяет, будет или нет разрешен проход через ворота.

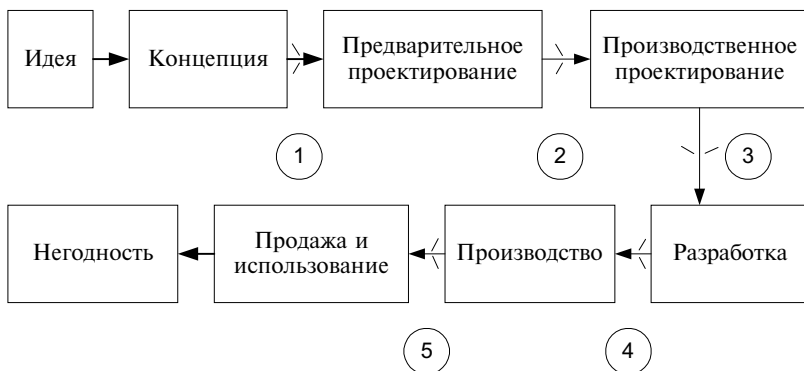


Рис. 8.6

Процесс реализации продукта. Последовательные моменты, в которые принимаются решения «проходит — не проходит», обозначены номерами в кружках

Вопросы, рассматриваемые в каждом воротех, включают способность продаваться (думаем ли мы по-прежнему, что покупателям нужен этот продукт?), производство (можем ли мы сделать продукт таким, как он нам представляется?), экономику (можем ли мы извлечь прибыль на этом продукте?), стратегию (опережаем ли мы своих конкурентов?) и множество других. Издержки — вот основной фактор, влияющий на принятие решений, поскольку требуемые инвестиции финансовых ресурсов, необходимых для передвижения на следующий этап разработки продукта, растут по мере продвижения от одних ворот к другим. К моменту прохождения ворот 4 или 5, если продукт будет оценен как не подающий никаких надежд, уже будут совершены значительные безвозвратные инвестиции. Цель процесса предвидения заключается в том, чтобы дать обещающим продуктам быстро двигаться к производству, но закрывать ворота на ранних стадиях для проектов, которые будут поглощать инвестиции без вероятности значительной финансовой отдачи.

По мере прохождения продуктом от ранних к поздним стадиям развития информация всех видов становится более детальной: концепции трансформируются в проект, дается спецификация материалов, определяются размеры и особенности, из-

### **158** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

держки могут быть рассчитаны все более точно и может быть оценена реакция покупателя.

**Ворота 1: от концепции к предварительному проекту.** Первые ворота контролируют переход от концепции к предварительному проектированию. Вопросы, связанные с ведением бизнеса, на этом этапе носят самый широкий характер: удовлетворяет ли эта концепция нуждам покупателей? соответствует ли она корпоративной линейке продуктов? имеет ли она потенциал для эффективной конкуренции?

**Ворота 2: от предварительного проекта к подробному проектированию.** Первоначальная или концептуальная стадия развития продукта обычно включает только маленькую группу людей, и единственные издержки на этой стадии — время. На следующей стадии предварительного проектирования продукта размер группы расширяется, но ее деятельность по-прежнему ограничена компьютерами, связью и эскизами, поэтому соответствующие расходы на разработку все еще умеренны. В этих воротах основные решения по проектированию уже были приняты, но пока не известны детали. Типичные вопросы, связанные с ведением бизнеса, в этих воротах сформулированы с точки зрения предварительного проектирования: отвечают ли оцененные спецификации целям продукта? привлекателен ли дизайн визуально? вероятно ли, что продукт будет прибыльным? Это часто наиболее важная точка принятия решений в процессе разработки продукта, поскольку корпоративные инвестиции в продукт, который проходит эти ворота, начинают быстро расти.

**Ворота 3: от подробного проектирования к разработке.** В третьих воротах команда проектирования представляет полностью проработанную конструкцию продукта вместе с умеренно детализированной информацией о производственном процессе. Сам продукт может получить достаточно подробную экологическую характеристику. Что касается процессов, если продукт достаточно похож по типу и материалам на другие продукты корпорации, необходимость в новой оценке экологических особенностей производства может быть невелика. Однако для нового

процесса или множества процессов обзор производства будет обширным.

Оценка продукта в этих воротах во всех случаях достаточно детальна. С точки зрения бизнеса вопросы становятся более конкретными, чем на более ранних стадиях: существуют ли технические препятствия развитию? удовлетворительны ли производственные процессы? полностью ли реализуются электрические и механические цели для полностью реализованного продукта? будет ли продукт нравиться покупателю?

***Ворота 4: от разработки к производству.*** К тому времени, когда собирается оценочная комиссия четвертых ворот, проектирование заканчивается, определяется производственный процесс, все материалы и детали выбраны, все поставщики хотя бы предварительно определены и все издержки оценены. В этих воротах принимается решение, продолжать ли производство. Это наиболее затратный из всех этапов.

Бизнес-решения в этих воротах очевидны и важны: уложились ли в оценки издержек? удовлетворительны ли характеристики производства продуктов? был ли определен круг надежных поставщиков? сохраняет ли продукт в том виде, в котором он выйдет после процесса производства, желательные характеристики, определенные в третьих воротах?

***Ворота 5: от производства к продажам и использованию.*** Оценка в пятых воротах часто формальна, особенно если решения в предыдущих воротах были достаточно обоснованны и всесторонни. Если не получена никакая неожиданная или нежелательная информация, продукт выпускается для продажи и использования. Вопросы, связанные с ведением бизнеса, включают оценку степени, в которой производство отвечает ожиданиям, и направлений маркетинговой компании.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ**

Billetos, S.B., and N.A. Basaly, *Green Technology and Design for the Environment*, Washington, DC: Taylor & Francis, 1997.

Hauser, J., and D. Clausing, The house of quality, *Harvard Business Review*, 63—73, May—June, 1988.

## 160 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Hendrickson, C.T., A. Horvath, L.B. Lave, and F.C. McMichael, Industrial ecology and green design, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 457—466, 2002.

National Academy of Engineering, *Design in the New Millenium*, Washington, DC: 1999 <http://books.nap.edu/catalog/9876.html>.

Pugh, S., *Total Design*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.

Ulrich, K.T., and S.D. Eppinger, *Product Design and Development*, New York: McGraw-Hill, 1995.

### УПРАЖНЕНИЯ

- 8.1 Выберите гаечный ключ или другой простой ручной инструмент и по возможности качественно оцените его для каждой из функций «Проектирование с учетом X».
- 8.2 Повторите упражнение 8.1 для электрического кухонного прибора на ваш выбор.
- 8.3 Сформируйте команду конструкторов с четырьмя другими студентами. Выберите один из следующих продуктов: кофеварку на 10 чашек, проектор, велосипед, газонокосилку. Каждый член вашей команды будет играть одну из следующих ролей: меженера-механика, инженера по производству, специалиста-эколога, специалиста по маркетингу, юриста корпорации. Разработайте Дом качества для продукта на ваш выбор и опишите его и итоговую концепцию проекта на 4—5 страницах.

## Г Л А В А 9

# Производственный процесс: проектирование и эксплуатация

### 9.1 ПРОБЛЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ

Производственный процесс — это последовательность операций, разработанная для достижения определенного технологического результата, скажем, производство телефонов из металлических и полимерных исходных материалов. Как и в случае проектирования продуктов, проектирование промышленных процессов может быть крайне сложной и проблемной задачей. Типичные цели конструкторов производственных процессов традиционно включали:

- достижение желаемого технологического результата;
- достижение высокой точности путем производства продуктов, которые постоянно находятся в рамках желаемых допусков;
- достижение высокой эффективности путем производства продуктов за минимальное время;
- разработку процессов, надежных в течение долгого времени;
- безопасность процесса для рабочих;
- разработку модульного и модифицируемого процесса;
- минимизацию первоначальных затрат (на закупку и установку оборудования);
- минимизацию операционных затрат.

Промышленная экология ставит несколько дополнительных целей:

- предотвращение загрязнения;
- сокращение риска для окружающей среды;
- осуществление проектирования процесса с учетом жизненного цикла.

Каждая из этих целей редко может быть оптимизирована самостоятельно. Напротив, целью становится достижение опти-

## 162 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

мального баланса целей. Цели промышленной экологии рассматриваются сравнительно недавно и обычно не понимаются так же хорошо, как остальные. В этой главе мы попытаемся дать экологические ориентиры разработчику процессов.

### 9.2 ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Один из основных подходов к проектированию и эксплуатации промышленных процессов называется *предотвращение загрязнения (pollution prevention)* (часто называемое  $P^2$ ) или *более чистое производство (cleaner production)*. Цель этой деятельности — сокращение воздействия или риска воздействия на работников, местные сообщества и окружающую среду в целом путем предотвращения загрязнения там, где оно впервые возникает. Последовательность такова: определение проблемы или потенциальной проблемы, выявление ее источника в производственном процессе и изменение источника таким образом, чтобы уменьшить или устранить проблему.

Оценка процесса в  $P^2$  имеет дело с последовательностью этапов, потреблением материалов, энергии, воды и других ресурсов, производством желаемых продуктов и выявлением и количественным измерением отходов. Пример диаграммы потоков для этого описания процесса приведен на рис. 9.1. На этом этапе не делается попыток количественного измерения какого-либо из потоков. Чем полнее диаграмма, тем проще будет последующая оценка.

Техники  $P^2$  рассмотрения вопросов, определенных характеристиками процесса, включают:

- 1) *модификацию процесса* — изменение процесса для минимизации или прекращения образования отходов;
- 2) *модификацию технологии* — изменение технологии производства для минимизации или прекращения образования отходов;
- 3) *хорошее ведение домашнего хозяйства* — изменение рутинного порядка или методов хозяйствования для минимизации или прекращения образования отходов;
- 4) *замену факторов* — изменение материалов процесса для минимизации количества или потенциального риска образованных отходов;



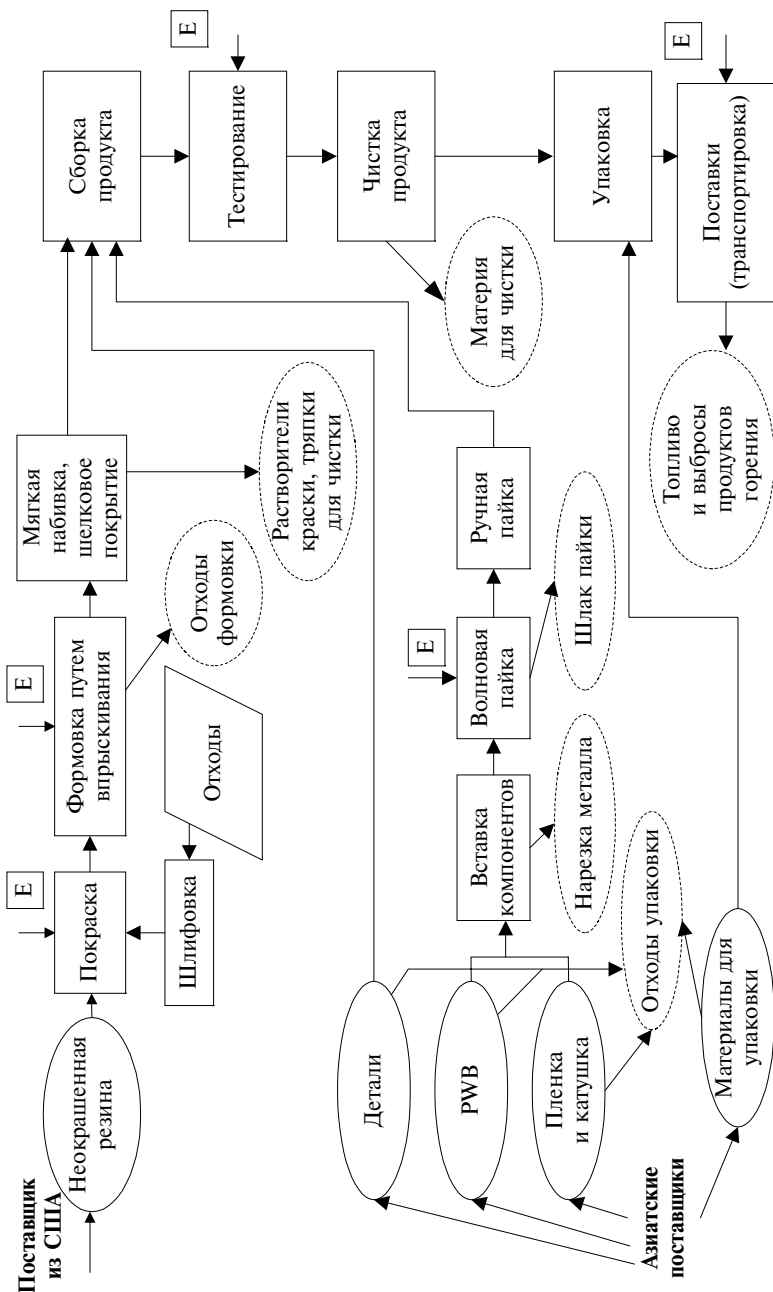


Рис. 9.1  
 Диаграмма потоков производства настольного телефона

### 164 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

5) *повторное использование на месте* — рециклирование отходов в рамках предприятия;

6) *повторное использование вне* — рециклирование отходов вдали от предприятия.

Угроза здоровью и экологические риски различных потоков и процессов, естественно, далеки от того, чтобы быть эквивалентными. Например, детальное изучение промежуточной нефтехимической отрасли показало, что только небольшое число соединений ответственно за большую часть потенциальной токсичности. Результаты этих исследований, показанные на рис. 9.2, демонстрируют, что толуол диизоцианат, фосген и метилен дифенилен являются очевидными целями усилий P<sup>2</sup>.



Рис 9.2

Соединения, которые являются основными вкладчиками в общую потенциальную токсичность отрасли химических полуфабрикатов (Адаптировано по S. Fathi-Afshar and J.C. Yang, Design the optimal structure of the petrochemical industry for minimum cost and least gross toxicity of chemical production. *Chemical Engineering Science*, 40, 781—797, 1985.)

## 9 Производственный процесс: проектирование и эксплуатация **165**

Дэвид Алэн (David Allen), работающий сейчас в University of Texas, отметил, что  $P^2$  можно рассматривать в различных пространственных масштабах. В микромасштабе, или на молекулярном уровне, пути химического синтеза и процессы производства других материалов могут быть переработаны для уменьшения отходов и снижения токсичности материалов. Этот подход достаточно важен для того, чтобы получить собственное имя: *зеленая химия (green chemistry)*. На уровне производственной линии, или мезомасштаба, вопросы проектирования включают регулирование температуры, давления, времени переработки и т.д. с использованием энергии и воды, образованием побочных продуктов, и внутренние потери процесса. Деятельность на уровне мезомасштаба чаще всего называется  $P^2$ . Наконец, макромасштаб, на уровне секторов и межсекторном уровне, можно рассматривать с точки зрения систем промышленной экологии, в которой побочные продукты используются вне мощностей, в которых они образуются. Деятельность  $P^2$  в микромасштабе обычно возможна только там, где синтезируются химические вещества:  $P^2$  в мезомасштабе и макромасштабе может предприниматься там, где используются химические вещества или другие материалы.

Как только определены химическое вещество или рассматриваемый процесс, может быть использован *учет материалов (materials accounting)* для выбора наилучших направлений действия. Для отдельного процесса результат показан на рис. 9.3. Здесь приведены и сравниваются количества целевых параметров.

После определения цели и потоков совершается многошаговый анализ сокращения и устранения:

- повторное проектирование процесса для замены низко-токсичными материалами высокотоксичных или производства требуемых высокотоксичных материалов на месте;
- минимизация отходов процесса;
- повторное использование отходов процесса;
- повторное проектирование процесса так, чтобы потоки нежелательных отходов стали потоками полезных побочных продуктов.

166 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

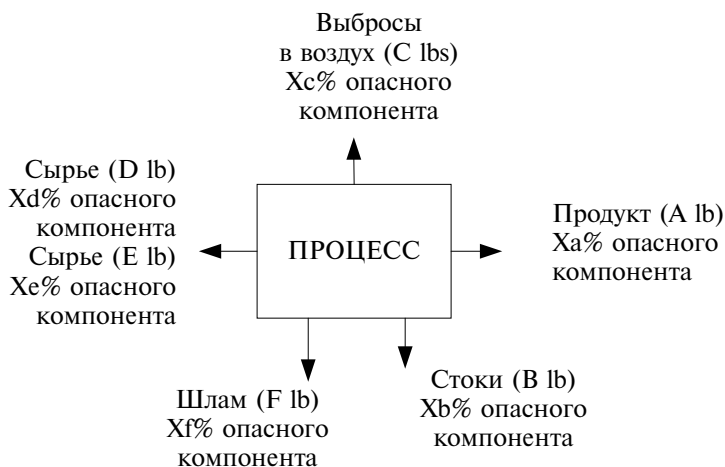


Рис. 9.3

Анализ материалов процесса, направленный на использование, сохранение и производство опасного компонента (D.G. Willis, *Pollution prevention plans — A practical approach*, *Pollution Prevention Review*, 347—351, Autumn 1991.)

Для уже существующего или только что начатого процесса обычно бывает полезен *аудит отходов (waste audit)*. Подход требует изучения *всех* потоков отходов предприятия для определения того, какие из них могут быть сокращены и как. Часто бывает хорошо начать с промышленных растворителей, моющих растворов и реактивов для травления. Подход, который в ряде случаев доказал свою эффективность — регенерация химических растворов, что часто может быть осуществлено с помощью фильтрации, изменения для ослабления требований чистоты, добавления стабилизаторов, реорганизации оборудования процесса и так далее. Пример возможного улучшения приведен на рис. 9.4. Раствор пероксида, единожды использованный и выбрасываемый, был постепенно переработан за несколько лет до тех пор, пока он не стал со временем заменяться раз в неделю. В результате сокращение издержек и уменьшение жидких отходов были очень велики.

Следующий метод увеличения срока жизни растворов — рекуперационная промывка. Он используется наиболее часто, когда детали опрыскиваются или погружаются в раствор для их

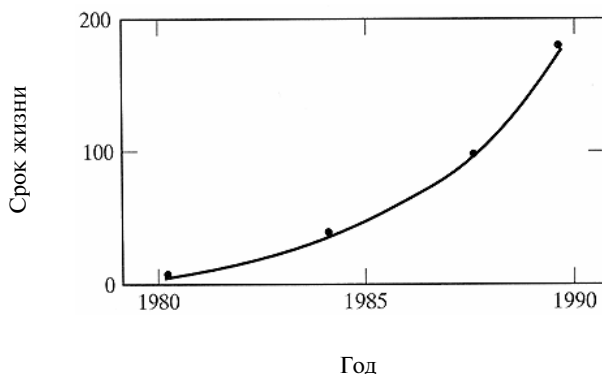


Рис 9.4

Увеличение срока жизни раствора пероксида, используемого в производстве электронных деталей

очистки после нанесения металла гальваническим способом или отделки поверхности. Впоследствии ополаскивающий раствор, содержащий химикаты, может быть возвращен в резервуар для замены жидкости, теряемой во время испарения, а не выбрасываться. Рекуперация может быть успешной там, где используется высокая степень контроля раствора и управление для поддержания качества.

### 9.3 ПРОБЛЕМА ДОСТУПНОСТИ ВОДЫ

Многие промышленные процессы интенсивно используют воду. При добыче и переработке металла и синтезе химических веществ вода используется особенно интенсивно на общей основе, но на нормированной основе такие секторы, как электроника, являются поразительно крупными пользователями: в то время как добыча металлической руды требует около 5 грамм воды на грамм перерабатываемой руды, производство компьютерного чипа требует около 1000 грамм воды на грамм конечного произведенного продукта.

В ряде более развитых стран промышленное использование воды падало, в особенности нормированное (количество воды на единицу продукта). Рисунок 9.5 (а) показывает, что в Соединенных Штатах, например, промышленное использование было приблизительно постоянным в 1970-х годах и сократилось на треть или более в 1980—1995 гг.

168 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

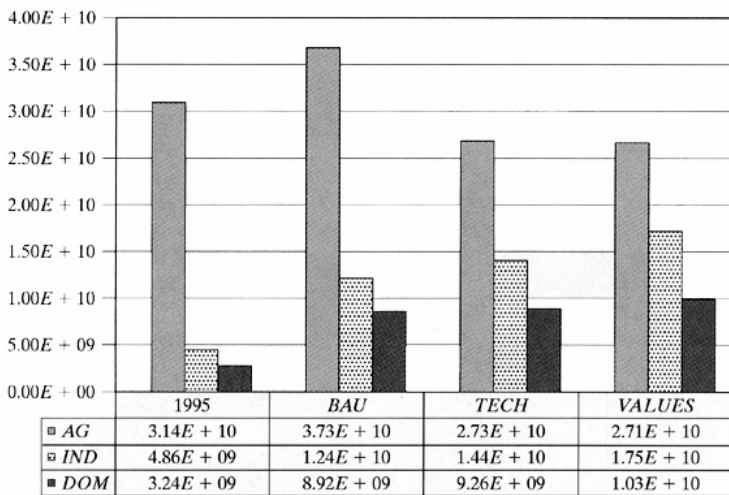
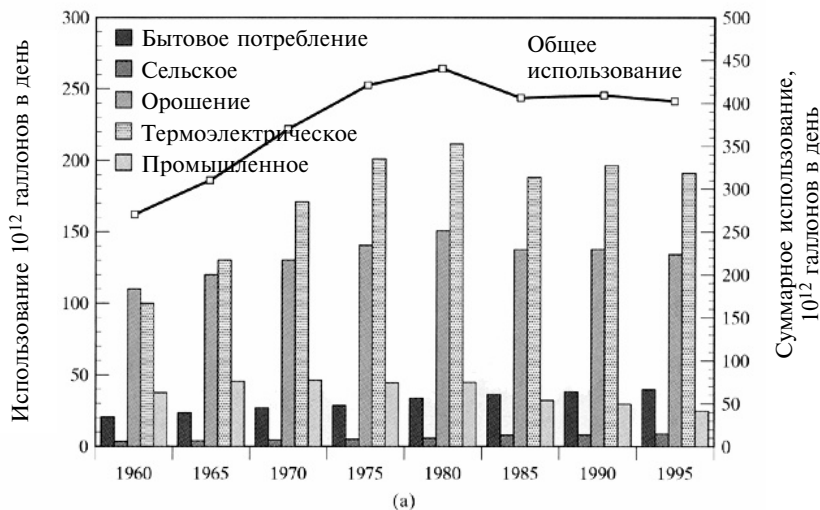


Рис. 9.5

(a) Тенденции использования воды в Соединенных Штатах, 1960—1995 г. Перепечатано из W.B. Solley, R.R. Pierce, and H. A. Perlman, *Estimated Use of Water in the United States in 1995*, Circular 1200, Denver, CO: U.S. Geological Survey, 1998. (b) Текущее использование воды в бассейне Хуанхэ, Китай, в 1995 г. и прогноз использования воды по трем сценариям в 2025 г.: Бизнес как обычно (BAU), Технология, экономика и частный сектор (TECH), и Ценности и стили жизни (VALUES) (Адаптировано из K. Stzepek and A. Holt, *Local scale implications of the world water scenarios: A case study of water management in the Yellow River Basin in China*, *China Water Vision*, The Hague, The Netherlands: Second World Water Forum, pp. 77—88, 2000.)

## 9 Производственный процесс: проектирование и эксплуатация **169**

Однако в Китае промышленное использование воды росло. Например, ожидается, что промышленное использование воды в бассейне Хуанхэ, около 12% общего в 1995 г., возрастет до 21 — 32% общего потребления к 2025 г. (рис. 9.5, б). Развивающиеся страны, таким образом, сталкиваются с особой проблемой: вода необходима для удовлетворения индивидуальных потребностей их растущего населения и орошения сельскохозяйственных посевов, которые его питают, оставляя все меньше промышленному потреблению. В мире, а в особенности в развивающихся странах, проектирование промышленных процессов с очень экономным расходом воды становится все более высоким приоритетом.

### 9.4 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ПРОЦЕССА

Как и продукты, производственные процессы также имеют жизненный цикл, хотя отличаются их составляющие. Жизненные стадии процесса охватывают три периода (рис. 9.6): обеспечение ресурсами и осуществление процесса возникают одновременно; первичные и вторичные операции процесса также возникают одновременно; починка, рециклирование и размещение — стадии конца жизни. Характеристики этих этапов описаны ниже.

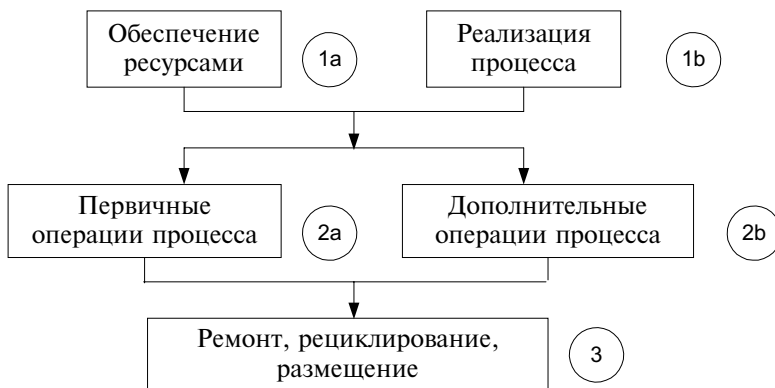


Рис. 9.6

Стадии жизненного цикла производственного процесса

## **170** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### **9.4.1 ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕСУРСАМИ**

Первая стадия жизненного цикла любого процесса — обеспечение материалами для производства ресурсов, используемых на протяжении жизни оцениваемого процесса. Одна из проблем — источник материалов, которые во многих случаях будут добываться из их естественных хранилищ. С другой стороны, могут быть использованы рециклированные материалы. Это может быть предпочтительнее использования самородных материалов, поскольку рециклированные материалы не предполагают такого разрушения окружающей среды, какое предполагает добыча самородных материалов, и часто требуют меньше энергии для восстановления и рециклирования, чем было бы потрачено на добычу самородного материала. Помимо этого рециклирование материалов часто дает меньше твердых, жидких или газообразных отходов, чем добыча самородных материалов. Однако всегда присутствует взвешивание альтернатив, особенно в области использования энергии, и каждый индивидуальный случай должен рассматриваться отдельно. Другая проблема — методы, используемые для приготовления материалов к их использованию в процессе. Например, независимо от того, откуда получен металлический лист, из которого будет сформирована деталь, формовка и чистка листа и упаковка детали должны быть проведены экологически ответственным способом. Операции по поставкам, таким образом, служат объектом оценки при разработке процесса и позже, когда он используется.

### **9.4.2 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА**

С обеспечением ресурсами совпадает реализация процесса, которая смотрит на экологические воздействия, как на результат деятельности, необходимой для организации процесса. Главным образом это включает производство и установку оборудования процесса, трубопроводов, конвейерных лент, выхлопных труб и т.п.

### **9.4.3 ПЕРВИЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

Процесс должен быть разработан так, чтобы его функционирование было экологически ответственным. В таком процессе в



## 9 Производственный процесс: проектирование и эксплуатация **171**

идеале было бы ограничено использование опасных материалов, минимизировано потребление энергии, исключено или минимизировано образование твердых, жидких или газообразных отходов и обеспечено использование любых произведенных отходов в других секторах экономики. Усилия должны быть направлены на разработку процессов, вторичные продукты которых можно продавать или использовать в рамках того же предприятия. В частности следует избегать образования отходов, опасные свойства которых усложняют их рециклирование или захоронение. Поскольку успешные процессы могут стать широко распространенными в производственном секторе, они должны быть разработаны так, чтобы хорошо работать в разных условиях.

Нереализуемая задача, но полезная цель: любая молекула, которая входит в производственный процесс, должна покинуть этот процесс как часть пользующегося спросом продукта. Восприятие этой цели как нереалистичной не обязательно соответствует действительности: отдельные современные производственные процессы, такие, как эпитакия молекулярного пучка, приближаются к этой цели и еще будут близки к этой цели в будущем.

### **9.4.4 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ**

Часто дело обстоит так, что несколько производственных процессов образуют символическую связь, и каждый из них предполагает существование остальных и зависит от него. Поэтому всесторонняя оценка процесса требует рассмотрения не только экологических характеристик самого первичного процесса, но также и характеристик дополнительных процессов, которые предшествуют ему или следуют за ним. Например, процесс сварки обычно требует предыдущего этапа очистки металла, который традиционно требовал разрушающих озоновый слой хлорфторуглеродов. Аналогично процесс спайки обычно требует последующей очистки для удаления коррозионного флюса припоя. Этот этап традиционно требовал использования хлорфторуглеродов. Изменения любого элемента этой системы — флюса, припоя или растворителя — обычно требовали также изменений и других, чтобы система работала удовлетворительно. Ответственный конструктор основного процесса будет рассматри-

## 172 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

вать, насколько сложны экологические требования, которые налагает его процесс на дополнительные процессы как при их подготовке, так и при их работе.

### 9.4.5 РЕМОНТ, РЕЦИКЛИРОВАНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ

Все оборудование процесса в конце концов станет непригодным. Поэтому оно должно быть разработано так, чтобы оптимизировать его разборку и повторное использование либо модулей (предпочтительный вариант), либо материалов. В этом смысле к оборудованию процесса предъявляются такие же требования и рекомендуются такие же действия, как и к любому продукту: использование быстроразъемных частей оборудования, идентификационная маркировка пластика и так далее. Ряд этих конструкторских решений принимаются корпорациями, производящими оборудование, которые вполне могут и не быть пользователями, но проектировщик процесса может контролировать или ограничивать экологически ответственные действия по рециклированию оборудования, выбирая характеристики первоначального проекта процесса.

Классический пример последствий неудачи разработки с учетом рециклирования — нефтяная платформа Brent Spar. Это сооружение в Северном море было разработано и построено в 1960-х годах, задолго до разработки проектирования с учетом рециклирования как резервуар для временного хранения нефтесырца, в ожидании транспортировки на заводы по очистке. В 1995 г. компания Royal Dutch Shell после тщательной оценки альтернатив решила избавиться от ставшей тогда ненужной платформы, затопив ее в Атлантическом океане к западу от Шотландии. Эти действия рассматривались Greenpeace, другими экологическими организациями и большинством жителей Западной Европы как персонифицирующие расточительное общество и пренебрежение промышленности к окружающей среде. В течение нескольких недель, в то время как обсуждались варианты и лодки Greenpeace кружили вокруг платформы, продажи бензина Shell резко упали. Наконец, поддаваясь давлению, Shell согласилась привезти платформу на берег и заплатить огромные суммы за ее демонтаж, надлежащее удаление остатков нефти и рециклирование металла. Более экологически предпочтитель-

## 9 Производственный процесс: проектирование и эксплуатация **173**

ным выбором (если рассматривать энергию, подверженность воздействию опасных материалов и использование рециклированных материалов) было предложенное сначала затопление. Фактически Shell заплатила огромную цену, как в деньгах, так и с точки зрения паблик рилейшнз, за то, что при проектировании платформы неудачно предусмотрела завершающий этап ее жизненного цикла.

### **9.5 ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА**

Анализ процесса начинается со сбора данных; центром внимания становятся три области: (1) сам первичный процесс, (2) оборудование, используемое в этом процессе, и (3) информация, касающаяся любых используемых дополнительных процессов. Информация должна быть настолько количественной, насколько это возможно при условии, что количественный анализ может быть проведен быстро; но многое может быть определено и по качественным данным, и аналитик не должен вязнуть в попытках все точно определить количественно.

После того как данные собраны, для оценивания могут быть использованы технологические карты. Как и раньше, целью становится осуществить улучшения, а не быть втянутым в зыбучие пески попыток выполнить работу на отлично. Затем необходимо сформировать список рекомендаций и расположить эти рекомендации по приоритетам.

#### **9.5.1 ПРОЦЕСС САМ ПО СЕБЕ**

Анализ процесса начинается с изучения реальных операций, которые выполняются в его ходе. Почти несомненно процессу требуется энергия. Каков источник энергии и может ли использоваться меньшее количество или более качественный источник энергии? Используется возмещение энергии или разные ее виды? Часто процессу требуются химикаты. Если это так, какие следует использовать химикаты и опасны ли они для человека, других биологических видов или экосистем? Это химикаты, полученные из первичного сырья или из рециклированных потоков? Если из первичного, какие потоки или продукты рециклирования могут быть доступны для использования?

## 174 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Потоки продуктов также требуют анализа. Какие (если они есть) химикаты образуются как побочные продукты процесса? (Заметьте, что производство побочных продуктов может возникнуть без потока входящих химикатов, поскольку побочный продукт может получаться из поступающих комплекующих, как при работе токарного станка.) Если потребляется энергия, очень вероятно, что выделяется тепло. Хорошо ли изолирован процесс, чтобы терялось мало этого тепла? С другой стороны, собирается ли каким-либо образом тепло и используется ли, скажем, для отопления соседних офисов? (Стоит отметить, что большинство домохозяйств, офисов и коммерческих предприятий избегают промышленных зон. Фактически законы о зонировании могут диктовать разделение. Поэтому лучшие потенциальные покупатели могут быть исключены из рассмотрения географических или политических соображений.

Механические и относительные аспекты процессов также могут быть с пользой проанализированы. Процесс прерывистый или непрерывный? Если он прерывистый, минимизированы ли потребности в энергии и материалах, необходимые для запуска? Находится ли место проведения процесса поблизости к местам проведения других процессов или к потокам входящих и выходящих компонентов так, чтобы минимизировать потребность в транспортировке? Если производится значительный поток побочных продуктов, существует ли поблизости процесс, который может получать и использовать его (в рамках этого предприятия или на другом предприятии поблизости)?

Основную заботу многих производственных фирм вызывает проблема покрытия — покраски, металлизации, антикоррозионной обработки и т.д. Летучие выбросы углерода, органических соединений в воздух и масел металлообработки в воду — вот сферы, которым уделяется особое внимание. Невозможно дать общий совет, поскольку индивидуальные процессы могут включать контроль выбросов, а могут и не включать его, требования по частой очистке оборудования или подходы к сокращению загрязнения масел. Тем не менее, было бы хорошо начать «экологизацию» любого оборудования, участвующего в процессе нанесения покрытий на поверхности путем изучения возможностей улучшения этих процессов.

### **9.5.2 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА**

Оборудование для процесса необходимо анализировать так, как бы анализировали продукт. (Это, естественно, продукт производителя оборудования для процесса, и покупатель оборудования принимает экологические характеристики оборудования, хорошие и плохие.) Анализ должен рассматривать материалы, использованные для производства оборудования, методы, которыми это оборудование собирается, его модульность, легкость, с которой оборудование может быть разобрано, и степень, до которой идентифицированы материалы. Большая часть оборудования для процессов изготовлена из стали. В зависимости от процесса могут требоваться нержавеющая сталь, органические или керамические покрытия поверхности. Оборудование для процессов также часто окрашивается с внутренней стороны. Оборудование для некоторых процессов, в особенности вне отраслей тяжелой промышленности, включает или целиком изготавливается из пластика. Распространены компьютерное управление и соответствующая электроника.

Если процесс устанавливается или скоро будет установлен, изучите технологии и материалы, используемые для упаковки, транспортировки и установки.

Использование энергии — важный атрибут продукта, который изготовлен для использования в производственном процессе. Любой компонент, который требует электропитания, должен быть разработан так, чтобы его можно было выключить, когда он не используется. Двигатели обычно должны быть с переменной скоростью, причем скорость должна регулироваться в зависимости от нагрузки.

### **9.5.3 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Изучите, требует ли основной оцениваемый процесс предшествующих или последующих процессов и используется ли в тех процессах определенный тип веществ или определенное химическое вещество. Если таким образом определены дополнительные процессы, является ли основной процесс экологически ответственным? Если нет, могут ли быть предложены альтернативы?

## 176 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### 9.6 РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА

Полезно составить список руководящих принципов деятельности по проектированию процесса и по его реализации. В микромасштабе «зеленая химия» усиливается в результате реализации нескольких принципов.

- По возможности реакции присоединения следует предпочитать реакциям замещения и выделения.
- Необходимо разработать синтетическую методологию для сохранения эффективности функций при использовании и производстве веществ, которые мало токсичны или вообще не токсичны для здоровья человека и окружающей среды.
- Исходные материалы, произведенные из возобновимого сырья, обычно предпочтительнее материалов, полученных из невозобновимых ресурсов.
- Использование вспомогательных веществ (растворителей, сепараторов и т.д.) необходимо по возможности исключить, а если такие вещества используются, процесс должен быть безопасным.

Центр внимания в мезомасштабе находится на уровне процессов, обычно включающих последовательность этапов реакций, обработки, сборки и упаковки. Здесь советы более общие; улучшений можно иногда достичь путем взаимозачетов между отдельными элементами процесса, следуя руководящим указаниям:

- минимизировать потребление материалов, воды и энергии;
- минимизировать число процессов очистки;
- минимизировать вторичные процессы, такие, как покрытие поверхностей;
- сопоставить потоки отходов с питающими потоками и трансформировать потоки отходов в годные к использованию питающие потоки;
- планировать и осуществлять регулярное профилактическое обслуживание;
- прекращать ненужные процессы;
- собирать остатки для использования там, где это возможно;
- собирать отходы для переработки или надлежащего размещения.

Руководящие указания для макромасштаба  $P^2$  (называемого промышленным симбиозом) даются в гл. 22.

## **9.7 ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ КОРПОРАЦИЙ**

Очевидная и ценимая выгода экологически ответственного проектирования процессов носит финансовый характер: программа «Предотвращение загрязнения платит» корпорации 3М и подобные программы других корпораций приводят к сбережению больших объемов средств ежегодно, начиная с более низких издержек по перемещению и переработке отходов, меньших закупок материалов для процесса, более низких издержек по обязательствам и сокращения издержек соответствия. Вторая выгода по природе управленческая: проще практиковать «зеленое» проектирование продукта и «зеленое» управление процессом, если все вокруг тебя это практикуют. Интеграция усилий в направлении корпоративного экологического превосходства — мощный способ связать подходы и стимулировать достижения.

Определение целей по показателям служит эффективным способом мониторинга и оценки показателей деятельности. В области управления процессами фирма Du Pont установила цель — «Цель—ноль», что означало, что Du Pont хотела бы полностью прекратить выбросы в окружающую среду. Это цель, как и цель отсутствия дефектов, естественно, недостижима, но она дает понять, что приближение к нулю — это цель, стоящая того, чтобы за нее бороться.

Производственные процессы обладают значительной инерцией, гораздо более сильной, чем производимые продукты. Капитальные затраты и издержки на персонал по организации процессов велики, и они обычно остаются на десятилетия. Издержки по их модификации или подгонке также велики, и процессы, организованные без серьезных попыток принять во внимание долгосрочные экологические аспекты, могут в конце концов потребовать значительных инвестиций в оборудование по контролю за загрязнением и переработке. Поэтому очень важно с обеих точек зрения — операционной и экологической — сделать это правильно в самом начале.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ**

Alien, D.T., Pollution prevention: Engineering design at macro-, meso-, and microscales, *Advances in Chemical Engineering*, 19, 21—323, 1994.

## 178 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Alien, D.T., and D.R. Shonnard, *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002.

Anastas, P.T., and J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1998.

Cano-Ruiz, J.A., and GJ. McRae, Environmentally conscious chemical process design. *Annual Review of Energy and the Environment*, 23, 499—536, 1998.

Diwekar, U., and M.J. Small, Process analysis approach to industrial ecology, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 114—137, 2002.

Graedel, T. E., *Streamlined Life-Cycle Assessment*, Chapter 8: Process assessment by SLCA matrix approaches, Upper Saddle River, NY: Prentice Hall, 1998.

Nguyen, N., ed., *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

U.S. Environmental Protection Agency, *Sector Notebooks Project*, A series of more than 20 volumes that provide sector introductions, process descriptions, and pollution prevention opportunities. Available on the web by searching the EPA Online Library System for «sector notebook» at <http://www.epa.gov/natlibra/ols.htm>.

van Berkel, R., E. Willems, and M. Lafleur, Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises-I, *Journal of Cleaner Production*, 5, 11—25, 1997.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 9.1 Выберите производственный процесс, из прошлого или современный, по которому вы можете собрать достаточно информации, связанной с его реализацией на конкретном промышленном предприятии. Оцените процесс, насколько это возможно, с учетом имеющихся данных, указывая на его сильные и слабые стороны с точки зрения промышленной экологии.
- 9.2 Вы — промышленный эколог в производственной компании, чей основной продукт — кабели для персональных компьютеров. Главные компоненты кабеля — медная проволока, мягкая пластиковая оболочка проволоки и твердые пластиковые коннекторы. Какие потоки побочных продуктов или отходов вы ожидаете? Какие из них должны быть предметом наибольшей вашей заботы?
- 9.3 Предположите, что пероксидная ванна, чей период жизни показан на рис. 9.4, используется для производства 50 000 кремниевых пластин в год. Стоимость химикатов для ванны 12 долл. за литр, объем ванны — 5 литров. Может быть произведено десять пластин в час. Сколько ванн использованного пероксида было образовано в 1980, 1983, 1988 и 1990 гг.? При издержках 40 центов на литр каковы были издержки в каждый указанный год? Были ли обоснованы расходы в размере 3500 долл. на систему фильтрации в 1988 г. и 9400 долл. в 1990 г. на систему пополнения?



## Г Л А В А 10

# Выбор материалов

### 10.1 ВОПРОСЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ

Материалы влияют на функционирование продукта, его прочность, его внешний вид и различные другие характеристики. Во многих случаях любой из ряда различных материалов может быть выбран для определенного приложения. При первоначальном проектировании продукта вопросы о том, что касается выбора материала, очевидны и важны:

- обладает ли материал желательными физическими свойствами (прочностью, электропроводностью, коэффициентом отражения и т.д.)?
- обладает ли материал желательными химическими свойствами (растворимостью, светочувствительностью, реактивностью и т.д.)?
- разумны ли издержки?

В современном все более сложном мире проектировщик должен также уделять внимание ряду дополнительных вопросов.

- Опасен ли материал для окружающей среды? (Эта широкая идея включает вопросы о токсичности для человека.)
- Безопасен ли материал? (Например, горюч ли он?)
- Высоко ли содержание овеществленной в материале энергии?
- Характерны ли для этого материала потенциальные ограничения предложения?
- Доступно ли предложение рециклированного материала?
- Можно ли материал легко заменить? (Есть ли реальные альтернативные материалы, если основной выбор станет менее желателен в результате изменений издержек, экологических вопросов или какого-либо другого фактора?)

В этой главе мы исследуем две темы, связанные с последним набором вопросов — опасностью для окружающей среды и доступностью ресурсов, и предложим материалы, которые, по-видимому, обладают самыми хорошими экологическими характеристиками.

## **180** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### **10.2 МАТЕРИАЛЫ И ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Выбор материалов часто ограничен токсичностью. При условии сопоставимости других аспектов для определенного приложения целью проектировщика должен быть выбор наименее токсичных материалов. Правительственные экологические агентства обычно определяют материалы, которые вызывают озабоченность с точки зрения токсичности, и эти списки служат хорошей точкой отсчета для физического проектировщика. В табл. 10.1 мы воспроизводим 17 веществ или групп химикатов, сокращение применения которых составляет цель проекта «Промышленная токсичность» Агентства по охране окружающей среды США, добровольной инициативы промышленных корпораций по сокращению выбросов этих веществ. Применение большинства приведенных материалов также было ограничено Европейским союзом и другими правительственными учреждениями. Список включает химические вещества как продуктов, так и процессов. Кадмий, хром, свинец, ртуть, никель и их соединения иногда используются в производстве, так что эти металлы оказываются частью производимых продуктов, часто в виде покрытия. Большинство оставшихся материалов относятся к химикатам; их можно использовать как растворители или очистители. Большую часть списка составляют хлорсодержащие растворители и моноароматические вещества. Также присутствуют растворы цианидов, обычно используемые в гальваническом покрытии. Поэтому команда физического проектирования должна рассматривать два аспекта выбора материалов, включающего токсичные материалы: возможность замены материалов в продуктах и возможность изменения процессов.

Могут быть даны и более детализированные списки сомнительных веществ. Закон США «О чистом воздухе» и его изменения определили более чем 600 химических веществ как «опасные загрязнители воздуха». Сюда включены те же группы веществ, что и определенные в приведенном списке: тяжелые металлы и их соединения, цианиды и галоидированные растворители. Включен ряд пестицидов, как и несколько органических негалоидированных соединений, которые, как было показано, обладают токсическими свойствами. Также присутствуют сухие

вещества, например асбест (минерал, содержащий кремнекислый магний), токсичность которых связана с их физическими свойствами, а не с химическими. Хорошая токсикология — очевидно важная предпосылка к адекватной оценке веществ из этого списка.

ТАБЛИЦА 10.1 Химические вещества, определенные в проекте «Промышленная токсичность» Агентства по охране окружающей среды США

Бензол	Кадмий и его соединения
Четыреххлористый углерод	Хлороформ
Хром и его соединения	Цианиды
Дихлорметан	Свинец и его соединения
Ртуть и ее соединения	Метилэтилкетон
Метилизобутилкетон	Никель и его соединения
Тетрахлорэтилен	Толуол
Трихлорэтан	Трихлорэтилен
Ксилолы	

Радионуклиды, естественные или искусственные, обладают способностью вызывать значительные проблемы для здоровья и поэтому они тщательно контролируются. Типичные годовые дозы излучения показывают, что беспокойство для всех, кто не связан с радионуклидами профессионально, вызывают природные и медицинские источники. Тем не менее малые источники радионуклидов используются в промышленности в определенных немедицинских приложениях: в светящихся приборах (часах), детекторах дыма, электронных устройствах, антистатических устройствах и научных инструментах. Правительственные ограничения на добычу, использование и размещение радиоизотопов, возможно, достаточны для гарантирования того, что материалы используются редко, только если их свойства не существенны для отдельных рассматриваемых продуктов.

Поскольку ограничения по производству, использованию и размещению продуктов, содержащих значительные объемы радионуклидов, так серьезны, проектировщики должны избегать использования радионуклидов, если только специальные характеристики не делают такое использование необходимым. Если они все же используются, объемы должны быть жестко ограничены; хорошим примером может послужить улучшенное фармакологическое использование радионуклидов: требуемые меди-

## 182 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

цинские выгоды должны достигаться с меньшими, чем когда либо, количествами радиоактивного материала.

Даже если материал, входящий в один или несколько опасных списков, важен для продукта или процесса и может быть безопасно использован на производственном предприятии, необходимо рассматривать вопросы размещения неизбежных отходов. Законодательство, регулирующее удаление отходов, сильно различается по всему миру и претерпевает постоянные изменения. Многие из материалов, находящихся в списках токсичных или опасных веществ, имеют ограничения на захоронение, но списки помимо этого включают классы соединений, имеющих особенно нежелательные физические характеристики, например стабильность, огнеопасность, высокую кислотность и высокую щелочность. Наконец, следует избегать использования каких-либо озоноразрушающих веществ, подлежащих постепенному сокращению в соответствии с международными протоколами.

Заключительной заботой инженеров по проектированию, выбирающих материалы, становится попытка предугадать будущие ограничения по материалам, чье использование сейчас не ограничено. Например, был поднят вопрос в отношении использования хлора и его органических соединений. Среди проблем здесь выделена опасность хлорорганических соединений для здоровья, что проявляется в образовании раковых клеток и изменении эндокринной функции как у людей, так и у животных. Однако отдельные соединения демонстрируют широкое разнообразие поведения в специальных тестах токсичности; поэтому производители и потребители хлоросодержащих материалов защищают их несомненную полезность и предлагают подход «соединение-за-соединением». По-видимому, маловероятно, что когда-либо будут приняты всесторонние запреты на соединения, содержащие хлор, но возможны целевые политические программы. Поэтому проницательный практик промышленной экологии может:

- исследовать альтернативы химическим соединениям, которые содержат хлор в конечном продукте;
- попытаться разработать альтернативные пути синтеза для процессов, в которых соединения хлора используются как промежуточные продукты;

- минимизировать и управлять, но продолжать использовать соединения хлора в процессах, где они особенно нужны.

### **Производство арсина**

Использование токсичного материала или материала, химически тесно связанного с токсичным материалом, в качестве исходного сырья или промежуточного компонента промышленного процесса обычно требует того, чтобы он транспортировался на производственное предприятие и хранился там до момента использования. Хранение токсичного материала или его предшественников было основной причиной самой серьезной химической аварии в истории: гибели 2000 людей в результате разлива метил-изоцианата из резервуара для хранения в Бхопале, Индия, в декабре 1984 г. Альтернативный подход к проектированию — производство необходимого химического вещества из нетоксичных предшественников, как это необходимо. Например, производство арсина, токсичного газа, широко используемого в производстве материалов в электронике, «по требованию» было продемонстрировано Джорджем Вальдесом и его сотрудниками в AT&T Laboratories. Процесс с участием мышьякового металлического катода, помещенного в электролизер, схематично изображен на рис. 10.1.

## **10.3 ИСТОЧНИКИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

### **10.3.1 АБСОЛЮТНОЕ ИЗОБИЛИЕ**

Первоначально прерогатива конструктора выбирать материалы с физическими и химическими свойствами, подходящими для установленной цели, ограничена поставками этих материалов и связанными с ними издержками. Многие из моментов, связанных с этим вопросом, обсуждались в гл. 5, и информация, представленная там, показала, что ряд широко используемых ресурсов может стать менее доступным в будущем из-за разнообразия факторов, ограничивающих их добычу и переработку.

Вопросы глобальной доступности ресурсов редко рассматривались в прошлом (очевидное исключение — эмбарго на арабскую нефть в 1970-х годах), но станут все более значимыми через некоторое время, поскольку численность населения стреми-

**184** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

тельно растет, в мире растет уровень жизни и использование ресурсов, связанное с этими тенденциями, делает все больший упор на материальные ресурсы.

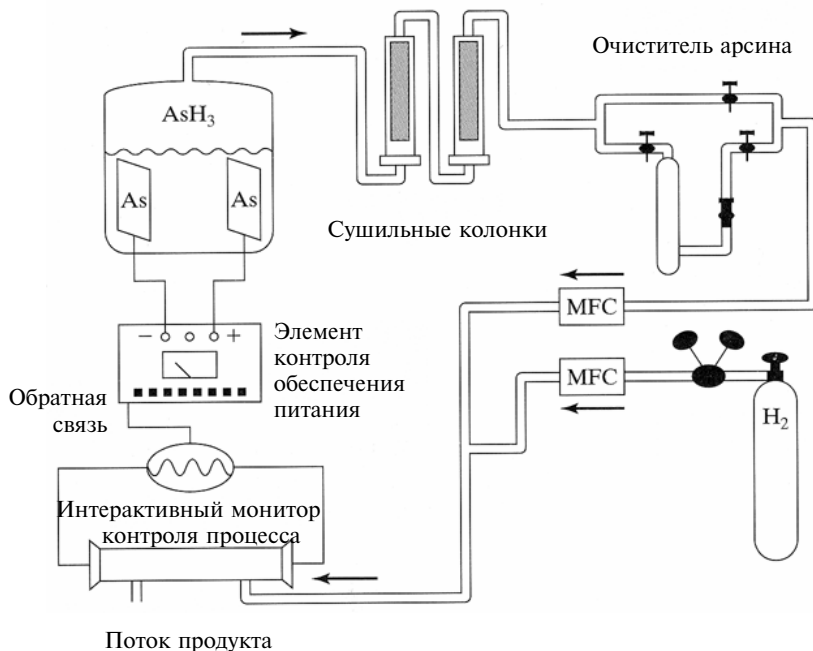


Рис. 10.1

Схематическая диаграмма электрохимического генератора арсина «по требованию». MFC — управление материальными потоками

Какова точная интерпретация этой перспективы изобилия и предложения? Не в том, что следует избегать потенциально дефицитных материалов, в особенности по экономической причине. На самом деле не существует устойчивой связи между физическим изобилием и издержками, при том что на издержки так сильно воздействуют накопление резервов, глобальная экономическая активность и т.п. Тем не менее кажется разумным, что потенциально дефицитные материалы должны использоваться только в тех случаях, когда идеально подходят их свойства. Это

особенно верно для использования материалов с низким их содержанием.

Сырье из возобновимых источников, таких, как биомасса, не подчиняется абсолютным ограничениям предложения невозобновимых ресурсов и должно быть использовано там, где это возможно. Если нет, в той степени, в которой могут быть придуманы эффективные и приемлемые средства, такие усилия улучшат предложение материалов с развитием технологического общества. В дальнейшем там, где требуется определенный ресурс, следует использовать минимальный объем этого ресурса. Кроме того, существует предложение модифицировать практику управления отходами, которая сегодня допускает смешивание материальных ресурсов на свалках, чтобы обеспечить возможный доступ к минимально смешанным материалам, если бы благоприятные экономические и технологические условия со временем сделали выгодным использовать их. Таким образом, свалки (полигоны) стали бы местами хранения материалов на будущее. Резюмируя, мы предлагаем не запреты использования материалов, но, скорее, использование материалов с осторожностью и взглядом в будущее.

### 10.3.2 ВОЗДЕЙСТВИЕ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РЕСУРСОВ

Добыча сырья из земной коры обычно включает движение и переработку больших объемов породы и земли. Например, для получения одной тонны меди требуется перемещение около 350 тонн перекрывающей породы и 100 тонн руды. Поэтому добыча сырья крайне энергоемка и имеет тенденцию быть разрушительной по отношению к экологическим ареалам обитания. Некоторое ощущение исключительного объема связанных материалов передает табл. 10.2 и превращение в продукты — рис. 10.2.

В шахтах и других местах добычи предпринимают ряд действий по охране окружающей среды, среди которых:

- сохранение верхнего почвенного слоя, перемещенного с места так, чтобы его можно было переместить обратно;
- контроль оползней поверхности в водоемах седиментации;
- отмежевание любых рабочих рудников водонепроницаемым материалом для сокращения загрязнения подземных вод;

### 186 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

- проведение мониторинга концентрации металлов, общих твердых взвесей и рН в любых сбросах в воду;
- контроль кислотных стоков из шахт (образующихся в результате реакции серы из открытых отходов обогащения с воздухом и водой);
- сбор воды от подземных операций в поддоны и выкачивание ее на поверхность для переработки;
- восстановление объекта до его прежних состояния и производительности при завершении операций.

После добычи полученный ресурс должен быть переработан и очищен для того, чтобы получить необходимый металл, химическое вещество или какую-либо начальную смесь. Эта последовательность этапов может быть высокоэнергоёмкой, в особенности если требуются высокое давление или высокие температуры. Для извлечения металлов осуществляются переработка и очистка в расплавленном состоянии, и потребление энергии, таким образом, связано с точкой плавления. Энергетические потребности по добыче ряда обычных минералов в пригодной к использованию форме из самородных запасов («овеществленная энергия») показаны на рис. 10.3. Вместе с вопросами воздействия на окружающую среду, связанными с добычей и переработкой самородных запасов, они предоставляют уникальный случай для рассмотрения рециклирования и повторного использования ресурсов.

ТАБЛИЦА 10.2 Глобальные материальные потоки, связанные с основными минералами, 1991 г.

Минерал	Руда, Тг	Руда среднего качества, %	Остатки, Тг
Медь	910	0,91	900
Железо	820	40,0	490
Свинец	120	2,5	115
Алюминий	100	23,0	77
Никель	35	2,5	34
Другие	925		850
Итого	2910		2460

Из J.E. Young, *Mining the Earth*, Worldwatch Tech. Paper 109, Worldwatch Institute, Washington, DC, 1992.





Рис. 10.2

Вес отходов добычи полезных ископаемых и металлических отходов, которые образуются в результате производства одного реактивного двигателя, в сто раз превышает вес самого двигателя

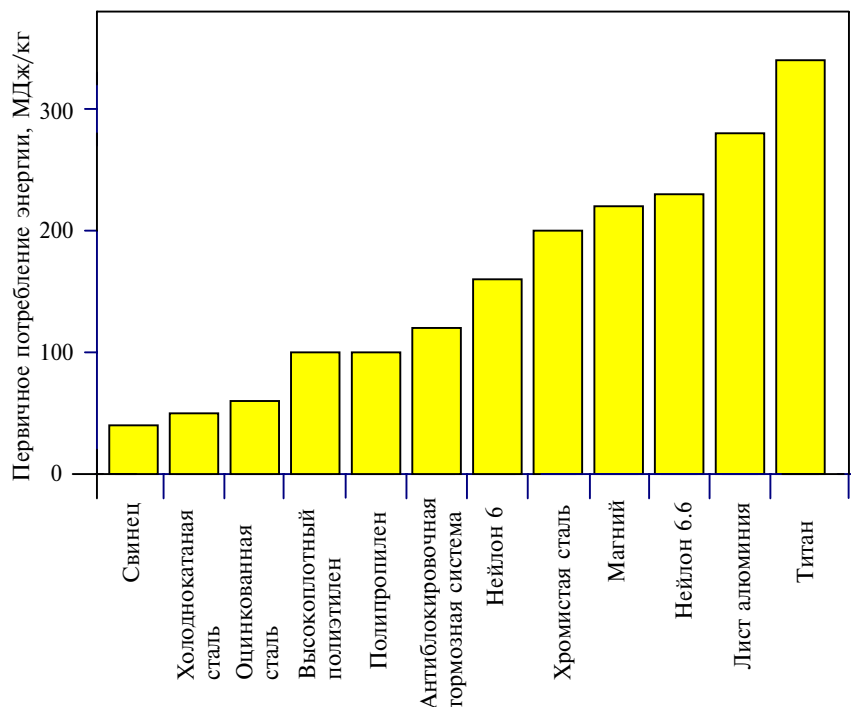


Рис. 10.3

Первичное потребление энергии на производство одного килограмма различных материалов (Адаптировано по M. Schuckert, H. Beddies, H. Florin, J. Gediga, and P. Eyerer, Quality requirements for LCA of total automobiles and its effect on investment analysis, in *Proceedings of the Third International Conference on Econmaterials*, Tokyo: Society of Non-Traditional Technology, 325—329, 1997.)

## 188 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### 10.3.3 ДОСТУПНОСТЬ И ПРИГОДНОСТЬ РЕЦИКЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В противоположность добыче и переработке эффективная деятельность по рециклированию будет способна обеспечить адекватные количества необходимых материалов при гораздо меньших затратах и воздействии на окружающую среду. Некоторые материалы пока не восстанавливались и не рециклировались с разумной эффективностью, но существует много таких, которые поддавались этому. В табл. 10.3 дана текущая статистика по процентному составу некоторых материалов, рециклируемых в глобальной экономике. Многие металлы рециклируются с разумной эффективностью и обычно могут быть усовершенствованы заново до требуемой чистоты. Переработка бумаги также широко используется, но осложняется тем, что с каждой стадией длина бумажного волокна уменьшается, и поэтому часто ограничиваются производством материала более низкого качества — последовательностью, которая известна как *каскадное рециклирование (cascade recycling)*. В случае пластика сложности разделения и переработки замедлили прогресс, но эту ситуацию энергично пытаются улучшить. Важно и дальше развивать эффективное рециклирование ресурсов, поскольку рудные запасы многих материалов не бесконечны и каждый раз, когда ресурс становится недоступным для технологического сообщества, конструкторы теряют потенциально важную степень свободы.

Иногда препятствием восстановлению и повторному использованию рециклированных материалов становится спецификация проектировщика или покупателя сырья, обычно осуществляемая, чтобы избежать получения неподходящих продуктов. Такие вопросы должны рассматриваться с определением не источника материалов, а его свойств. С другой стороны, во многих случаях можно потребовать, чтобы поставщики обеспечили фиксированный процент закупленных материалов из источников отходов постпотребления, как сделала корпорация Eastman Kodak со своими пластиковыми контейнерами и стальными барабанами. Если предпринимаются эти шаги, часто возникает проект, лучше подкрепленный информацией, а количество и тип поставщиков рециклированных материалов возрастает.

**Бессвинцовый припой Sony:  
решение одной проблемы, создание другой**

Микрочипы, конденсаторы, резисторы и другие электронные детали прикрепляются к месту с помощью припоя — легкоплавкого сплава, содержащего по весу примерно 60% олова и 40% свинца. Из-за токсичности свинца десять лет велась работа по разработке бессвинцового припоя, по возможности такого, который бы сразу заменил применяемый в существующем оборудовании сплав. В 1999 г. Sony анонсировала такой припой: 93,4% олова, 2% серебра, 4% висмута, 0,5% меди и 0,1% германия. Материал хорошо выполняет функцию спаивания, его используют в современных паяльных аппаратах. Однако, как оказывается, новая формула имеет потенциальные ограничения по предложению материалов.

Мировое производство сырого олова составляет 200 000 метрических тонн, около 21% из них используется для сплава 60Sn/40Pb. Если бы новый сплав Sony полностью заменил этот сплав, использование олова увеличилось бы в 93,4/60 раз или примерно от 21 до 33%. Оловопроизводящие предприятия цветной металлургии, возможно, приветствовали бы это. Не возникло бы никаких значительных изменений в темпах использования меди, и использование серебра увеличилось бы только на 11%. Однако использование висмута увеличилось бы на 89%, а и германия — на 103%; это бы вызвало существенное напряжение систем добычи и переработки, в особенности если бы переход к новому припою произошел быстро.

Более серьезную проблему представляет то, что период истощения всех этих материалов в настоящее время достаточно короток и стал бы еще короче при новых темпах потребления. Как показывает таблица, серебро, висмут и германий имели бы номинальный период истощения (*depletion times  $t_D$* ) (т.е. период истощения, рассчитанный без учета изменения цен или запасов) менее 20 лет: не очень заманчивая перспектива для замещающей технологии.

Наконец, рассмотрим источники материалов. Олово, серебро и медь получают из их собственных руд. Однако висмут — это побочный элемент, главным образом для свинца. Использование висмута не только требует добычи свинца (токсичного материала, для избежания которого и задумывался новый сплав), но сам свинец имеет период истощения 20 лет. Сходная ситуация и с германием, побочным элементом главным образом для цинка, период истощения которого — 19 лет.

Таким образом, с точки зрения доступности ресурсов технически совершенный припой Sony терпит сокрушительное поражение. Его широкомасштабное использование потребовало бы крайне быстрого роста предложения, периоды истощения его составляющих малы, их источники потенциально ограничены и он не

## 190 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

может быть произведен без добычи материала, которого хотелось избежать с самого начала. Маловероятно, что было бы начато производство нового припоя, если бы инженеры по ресурсам смотрели на его состав с точки зрения доступности ресурсов.

Ингредиент	Текущее $t_D$ , лет	$t_D$ с полным использованием нового припоя
Олово	27	20
Серебро	16	14
Висмут	30	16
Медь	35	35
Германий	35	17

ТАБЛИЦА 10.3 Глобальный процент рециклированных материалов

Материал	Процент рециклирования
Алюминий	28
Кобальт	2
Медь	38
Свинец	53
Молибден	11
Никель	34
Сталь	64
Олово	13
Вольфрам	10
Цинк	28

*Источники данных:* J.L.W. Jolly, J.F. Papp, and P.A. Plunkert, *Recycling-Nonferrous Metals*, Washington, DC: U.S. Bureau of Mines, 1991; M.E. Henstock, *The Recycling of Non-Ferrous Metals*, Ottawa, Canada: International Council on Metals and the Environment, 1996; Steel Recycling Institute, Pittsburg, PA, [www.recycle-steel.org](http://www.recycle-steel.org), accessed 05/01/01

### 10.4 ЗАМЕНА МАТЕРИАЛОВ

Даже когда материал оказался удовлетворительным для конкретного применения, всегда нужно рассматривать вопрос его замены. Замена может обеспечить сокращение издержек или возможность улучшить проект. Замещающие материалы должны, естественно, полностью удовлетворять всем экономическим,

физическим и химическим требованиям предполагаемого применения.

Замена материалов часто связана с разработкой новых подходов к добыче или переработке. Из-за значительных капитальных издержек и обычного сопротивления изменениям изменения процессов обычно происходили медленно: например, в США интервал для трансформации процесса производства стали составляет около 50 лет (рис. 10.4). Эта закономерность воздействует на количество доступного материала и может оказаться особенно значительной там, где участвуют необычные композиты.

Обычно ситуация такова, что продукт содержит много материалов и имеет потенциал для замены некоторых из них. Так дело обстоит с автомобилями, где в недавнем прошлом использование углеродистой стали, железа и цинка, отлитого под давлением, существенно сократилось, а высокопрочной стали, алюминия, меди (особенно электротехнической) и пластика — существенно возросло (табл. 10.4). Там, где это имеет смысл, в укрепленных волокном пластмассовых компонентах теперь используются природные волокна, сокращая вес по сравнению с компонентами, укрепленными стекловолокном, и увеличивая рецикличность.

ТАБЛИЦА 10.4 Материалы, используемые в типичном американском автомобиле, кг

Материал	1978 г.	1988 г.	% изменения
Углеродистая сталь	870	654	-25
Высокопрочная сталь	60	105	74
Нержавеющая сталь	12	14	19
Другие стали	25	20	-19
Железо	232	207	-11
Пластик	82	101	23
Жидкости	90	81	-10
Резина	67	61	-8
Алюминий	51	68	32
Стекло	39	38	-2
Медь	7	22	320
Цинковое литье	14	9	-33
Другое	62	57	-9
Итого	1621	1437	-11

Данные относятся к седанам, фургонам и «универсалам» и взяты из Н.А. Stark, ed., *Ward's Automotive Handbook*, Ward's Communications, Detroit, MI, 1988.

192 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

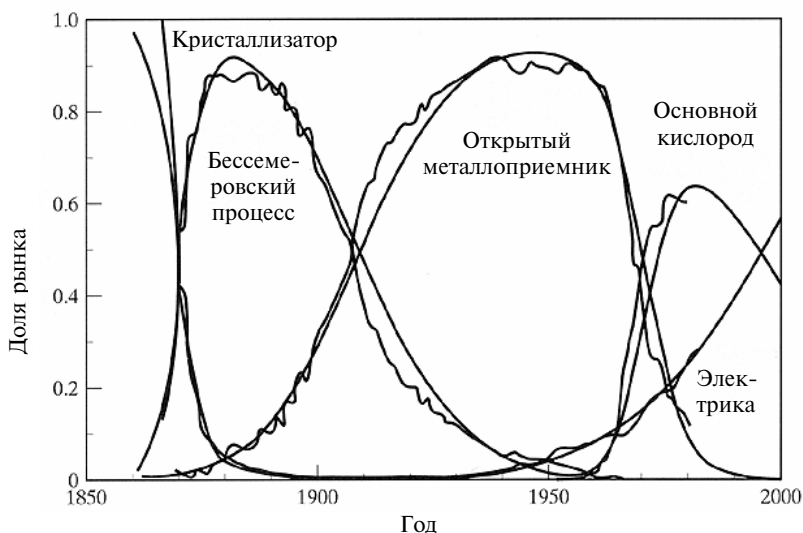


Рис. 10.4

Изменения процессов производства стали в США в период 1850—2000 г. Волнистые линии — исторические данные, гладкие кривые — оценки моделей парных уравнений (A. Gröbler, *Technology and Global Change*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1998.)

### Ружейная дробь из висмута

В предыдущей главе мы привели данные по промышленному использованию свинца в Соединенных Штатах, отмечая, что около 5% его годового использования в 1988 г. шло на охотничьи боеприпасы. Вскоре свинцовая дробь была запрещена для охоты на водоплавающую птицу, поскольку значительное количество птиц, которые не были убиты, умирали от отравления свинцом после заглатывания дроби, попавшей в окружающую среду. Первоначальной заменой этим патронам были патроны, заряженные стальными дробишками. Это решение не было успешным, в особенности потому, что плотность стали значительно меньше плотности свинца. Это отличие имело несколько следствий: была необходима дополнительная корректировка при стрельбе по движущейся мишени (старыми методами точной стрельбы трудно овладеть), стальная дробь быстрее рассеивалась, так что сокращались эффективные дистанции стрельбы, а умеренное первоначальное рассеивание дроби в стволе ружья причиняло ущерб некоторым старым моделям ружей.

Явно требовалось решение этой проблемы в русле «проектирования для окружающей среды», и оно родилось у Джона Брауна из Онтарио, Канада: замена свинца висмутом. Висмут имеет почти такую же плотность, что и свинец, поэтому дробь ведет себя аналогично той, которую она заменила, но висмут нетоксичен. Поэтому основной отрицательной характеристики свинца удалось избежать. Патроны теперь производит компания Bismuth Cartridge Company of Dallas, TX.

Стоит отметить, что замена свинца висмутом не может стать долгосрочным решением, поскольку висмут и свинец встречаются в одних и тех же рудных телах, и висмут нельзя добыть из его природных залежей без одновременной добычи свинца. Поэтому замена свинцовой ружейной дроби на висмутовую приемлема, только поскольку боеприпасы — это незначительная доля используемого свинца. Если должно быть постепенно сокращено использование свинца, предложение висмута было бы ограничено. Помимо этого, патроны — это, очевидно, приложение, в котором дробь в процессе использования теряется. Невозможно никакое восстановление материала, содержащегося в дроби, поэтому поставки даже нетоксичной дроби могут поддерживаться, только если другие пути использования висмута позволяют его восстанавливать и рециклировать.

## 10.5 МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ

С учетом связанных с использованием материалов соображений, обсуждавшихся выше, какие рекомендации по выбору материалов можно предложить конструкторам? Подходящий подход не концентрация внимания на той или иной характеристике материалов, а рассмотрение целой их группы с многопараметрической точки зрения. Мы рекомендуем использовать информацию по абсолютной распространенности ресурса: добывается ли он как основной продукт или как побочный, широко ли он распространен географически, каковы степень энергоемкости его добычи и переработки и его токсичность.

В табл. 10.5 мы приводим рейтинги для каждой из этих пяти характеристик природных элементов. Суммы этих рангов дают нам возможность исследовать потребление ресурса и потенциальное воздействие на окружающую среду использования какого-либо элемента и проводить сравнение одного элемента с другим с этих позиций. С учетом физических и химических

## 194 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

свойств, адекватных данному приложению, эта таблица может быть использована как помощь в выборе материалов инженерами по проектированию продуктов и процессов.

ТАБЛИЦА 10.5 Характеристики имеющихся в наличии ресурсов

№	Элемент (символ)	Изоби- лие <sup>1</sup>	Побоч- ный <sup>2</sup>	Геогра- фия <sup>3</sup>	Энер- гия <sup>4</sup>	Токсич- ность <sup>5</sup>	Интег- ральная оценка	Рейтинг исполь- зования <sup>6</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Водород (H)	3	2	2	2	2	11	N
2	Гелий (He)	2	2	2	1	2	9	N
3	Литий (Li)	3	2	2	2	1	10	N
4	Бериллий (Be)	1	2	0	1	0	4	H
5	Бор (B)	3	2	2	2	1	10	N
6	Углерод (C)	3	2	2	2	2	11	N
7	Азот (N)	3	2	2	1	2	10	N
8	Кислород (O)	3	2	2	2	2	11	N
9	Фтор (F)	3	2	2	2	2	11	N
10	Неон (Ne)	3	2	2	1	2	10	N
11	Натрий (Na)	3	2	2	2	2	11	N
12	Магний (Mg)	3	2	2	2	2	11	N
13	Алюминий (Al)	3	2	2	0	2	9	N
14	Кремний (Si)	3	2	2	1	2	10	N
15	Фосфор (P)	2	2	2	2	2	10	N
16	Сера (S)	0	2	2	1	2	7	M
17	Хлор (Cl)	3	2	2	2	2	11	N
18	Аргон (Ar)	3	2	2	1	2	10	N
19	Калий (K)	3	2	2	2	2	11	N
20	Кальций (Ca)	3	2	2	2	2	11	N
21	Скандий (Sc)	3	0	2	2	1	8	M
22	Титан (Ti)	3	2	2	0	2	9	N
23	Ванадий (V)	3	2	2	1	2	10	N
24	Хром (Cr)	3	2	2	0	1	8	M
25	Марганец (Mn)	1	2	1	1	2	7	M
26	Железо (Fe)	3	2	2	1	2	10	N
27	Кобальт (Co)	3	2	2	1	1	9	N
28	Никель (Ni)	2	2	2	0	1	7	M
29	Медь (Cu)	1	2	2	1	1	7	M
30	Цинк (Zn)	0	2	2	1	2	7	M
31	Галлий (Ga)	2	0	2	0	2	6	M
32	Германий (Ge)	1	0	1	1	1	4	H



*Продолжение табл. 10.5*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	Мышьяк (As)	0	1	1	1	0	3	E
34	Селен (Se)	2	1	2	1	0	6	M
35	Бром (Br)	3	2	2	2	2	11	N
36	Криптон (Kr)	3	2	2	1	2	10	N
37	Рубидий (Rb)	2	1	2	1	1	7	M
38	Стронций (Sr)	1	2	2	1	1	7	M
39	Иттрий (Y)	3	2	2	1	1	9	N
40	Цирконий (Zr)	2	1	2	1	1	7	M
41	Ниобий (Nb)	3	2	1	1	2	9	N
42	Молибден (Mo)	2	2	1	1	2	8	M
43	Технеций (Tc)	0	0	0	0	0	0	E
44	Рутений (Ru)	3	0	2	1	2	8	M
45	Родий (Rh)	2	0	2	1	2	7	M
46	Палладий (Pd)	2	0	2	1	2	7	M
47	Серебро (Ag)	0	2	2	2	2	8	M
48	Кадмий (Cd)	1	0	2	1	0	4	H
49	Индий (In)	0	0	2	1	1	4	H
50	Олово (Sn)	1	1	2	1	2	7	M
51	Сурьма (Sb)	2	1	2	1	2	8	M
52	Теллур (Te)	2	0	2	1	1	6	M
53	Йод (I)	3	2	2	2	2	11	N
54	Ксенон (Xe)	3	2	2	1	2	10	N
55	Цезий (Cs)	1	1	2	1	0	5	H
56	Барий (Ba)	2	2	2	1	1	8	M
57	Лантан (La)	3	2	2	1	1	9	N
58	Церий (Ce)	3	2	2	1	1	9	N
59	Празеодим (Pr)	3	2	2	1	1	9	N
60	Неодим (Nd)	3	2	2	1	1	9	N
61	Прометий (Pm)	3	2	2	1	1	9	N
62	Самарий (Sm)	3	2	2	1	1	9	N
63	Европий (Eu)	3	2	2	1	1	9	N
64	Гадолиний (Gd)	3	2	2	1	1	9	N
65	Тербий (Tb)	3	2	2	1	1	9	N
66	Диспрозий (Dy)	3	2	2	1	1	9	N
67	Гольмий (Ho)	3	2	2	1	1	9	N
68	Эрбий (Er)	3	2	2	1	1	9	N
69	Тулий (Tm)	0	2	2	1	1	9	N
70	Иттербий (Yb)	3	2	2	1	1	9	N
71	Лютеций (Lu)	3	2	2	1	1	9	N

**196** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Продолжение табл. 10.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
72	Гафний (Hf)	2	1	2	1	1	7	М
73	Тантал (Ta)	2	1	2	0	2	7	М
74	Вольфрам (W)	2	2	2	1	2	9	Н
75	Рений (Re)	2	0	2	0	1	5	Н
76	Осмий (Os)	3	0	2	1	2	8	М
77	Иридий (Ir)	3	0	2	1	2	8	М
78	Платина (Pt)	3	2	2	1	2	8	М
79	Золото (Au)	0	2	2	1	2	7	М
80	Ртуть (Hg)	0	2	1	1	0	4	Н
81	Таллий (Tl)	0	0	1	1	0	2	Е
82	Свинец (Pb)	0	2	2	1	0	5	Н
83	Висмут (Bi)	1	1	2	1	1	6	М
84	Полоний (Po)	0	0	1	0	0	1	Е
85	Астат (At)	0	0	2	0	0	2	Е
86	Радон (Rn)	2	2	2	1	0	7	М
87	Франций (Fr)	0	0	2	0	0	2	Е
88	Радий (Ra)	1	1	1	1	0	4	Н
89	Актиний (Ac)	0	0	2	1	0	3	Е
90	Торий (Th)	1	1	2	1	0	5	Н
91	Протактиний (Pa)	0	0	2	0	0	2	Е
92	Уран (U)	1	2	2	1	0	6	М

<sup>1</sup>  $t_{D3}$  — изобилие, 2 — обилие, 1 — ограниченный, 0 — редкий (источник данных: табл. 5.1).

<sup>2</sup> H2 — не сопутствующий, 1 — добываемый главным образом как побочный, 0 — исключительно как побочный (табл. 5.2).

<sup>3</sup> G2 — широкодоступный (источники на нескольких континентах), 1 — умеренные географические ограничения (источники только на двух континентах), 0 — значительные географические ограничения (источники только на одном континенте) (Источник данных: табл. 5.3).

<sup>4</sup> EN2 — малые энергозатраты переработки, 1 — умеренные энергозатраты переработки, 0 — высокие энергозатраты переработки (Источники данных: S.E. Kesler, *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994; M. Schuckert, H. Beddies, H. Florin, J. Gediga, and P. Eyerer, Quality requirements for LCA of total automobiles and it's effect on inventory analysis, in *Proceedings of the Third International Conference on Ecomaterials*, Tokyo: Society of Non-Traditional Technology, 32—329, 1997).

<sup>5</sup> EV2 — высокая токсичность, 1 — умеренная токсичность, 0 — низкая токсичность (Источники данных: табл. 10.1; R.C. Weast, ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 60<sup>th</sup> ed., Boca Raton, FL: CRC Press, 1974).

<sup>6</sup> Рейтинг использования N — никаких ограничений предложения (итог 9—11), M — умеренные ограничения предложения (итог 6—8), H — высокие ограничения предложения (итог 4—5), E — крайне высокие ограничения предложения (итог <4).

Однако большинство конструкторов работают не с чистыми элементами, а со сплавами, полимерами или композитами. Были затрачены значительные усилия, особенно в Японии, чтобы определить, какие свойства могли бы сделать некоторые материалы экологически чище, чем другие, т.е. определить характеристики «экоматериалов». С самого начала ясно, что использование любого материала не может быть экологически полезным: добыча и переработка неизбежно требуют энергии и оказывают воздействие на окружающую среду. Поэтому в качестве базового определения экоматериала мы можем взять следующее:

Экоматериал — это материал, получение и использование которого приводит к минимальному воздействию на окружающую среду, минимальному истощению ресурсов и минимальным регулирующим ограничениям для использования.

Используя это определение как ориентир, можно определить семь свойств экоматериалов.

- Предложение материала неограниченно.
- Можно использовать рециклированный материал.
- Материал требует низкого потребления энергии при добыче, переработке и производстве.
- Материал оказывает небольшое воздействие на окружающую среду или не оказывает его вовсе.
- На материал нет существующих или ожидаемых правовых ограничений.
- Материал можно использовать долго.
- Материал можно обновлять или рециклировать.

В некоторых случаях степень, в которой данный материал удовлетворяет некоторое свойство, может быть оценена количественно. В других оценивание должно по необходимости быть более качественным. Таким образом, для оценки экоматериалов-кандидатов полезно применять подход, описанный выше.

Мы будем оценивать перспективные экоматериалы, используя звездообразную диаграмму с семью лучами: по одному на каждую из семи характеристик, приведенных выше (рис. 10.5, а). В каждом случае мы приписываем рейтинг А (наихудший), В, С или D (лучший), следуя ориентирам, приведенным в табл. 10.6. Затем мы изображаем рейтинги на звездообразной диаграмме, причем рейтинг А изображается как наиболее далекое располо-

### 198 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

жение точки на луче звезды, а  $D$  — как ближайшее. Таким образом, высоко оцениваемый экоматериал получит большинство рейтингов вблизи центра звезды.

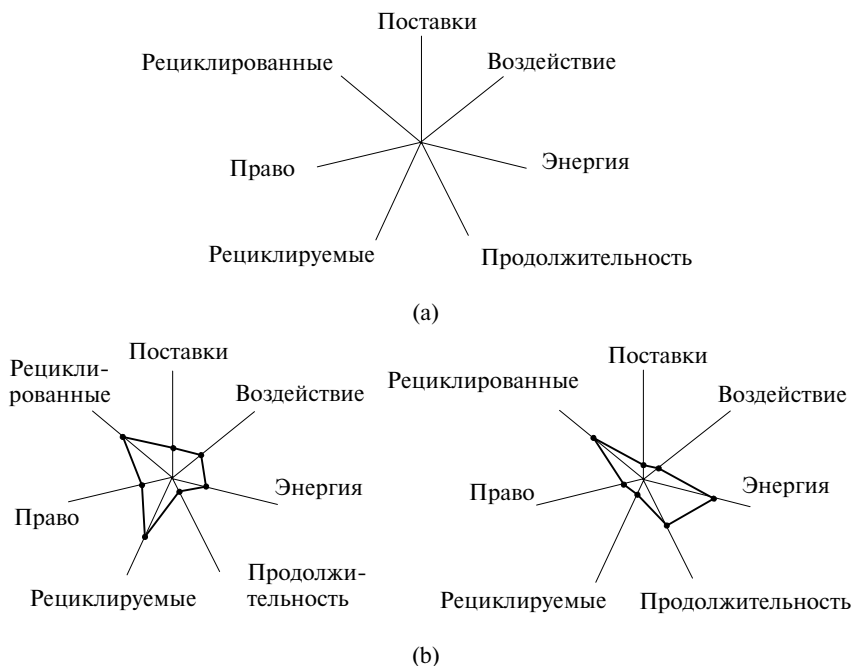


Рис. 10.5

(а) Звездообразная диаграмма для оценки экоматериалов. (б) Анализ по звездообразной диаграмме для использования алюминия (слева) или пластикового композита (справа) в автомобилестроении в тропическом климате

Для иллюстрации оценки экоматериалов на рис. 10.5, б сравниваются алюминий и пластиковые композиты для использования в автомобилях в тропиках. Алюминий имеет хорошие показатели по предложению (он распространен), воздействию (он относительно безвреден), рециклируемости и правовому статусу. Он имеет низкие показатели по предложению рециклированных ресурсов (в автомобилях используется первичный алюминий), энергии (переработка алюминия требует значительных затрат энергии) и долгого срока службы (алюминий подвержен

---

ТАБЛИЦА 10.6 Критерии рейтинга свойств экоматериала

---

Предложение:\*

- A — время истощения <25 лет
- B — время истощения 25—50 лет
- C — время истощения 51—100 лет
- D — время истощения >100 лет

Предложение рециклированного сырья

- A — изготовлено полностью из рециклированного сырья
- B — изготовлено с использованием >50% рециклированного сырья
- C — изготовлено с использованием <50% рециклированного сырья
- D — изготовлено полностью из первичного сырья

Энергетические характеристики

- A — оверхественная энергия <50 МДж/кг материала
- B — оверхественная энергия 50—99 МДж/кг материала
- C — оверхественная энергия 100—200 МДж/кг материала
- D — оверхественная энергия >200 МДж/кг материала

Воздействие на окружающую среду\*\*

- A — оценка опасности <25
- B — оценка опасности 25—50
- C — оценка опасности 51—75
- D — оценка опасности >75

Правовой статус

- A — благоприятный для окружающей среды
- B — небольшая вероятность правовых ограничений
- C — потенциальные правовые ограничения
- D — в настоящий момент под правовыми ограничениями

Долговечность

- A — срок не ограничен
- B — медленно разрушается в той среде, в которой будет использован
- C — умеренно разрушается в той среде, в которой будет использован
- D — быстро разрушается в той среде, в которой будет использован

Рециклируемость

- A — полностью рециклируем
  - B — рециклируем более чем на 50%
  - C — рециклируем менее чем на 50%
  - D — полностью нерестицилируем
- 

\* Периоды истощения для элементов и обычных минералов даны в E. Kesler, *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994.

\*\* Рейтинг опасности большинства химических веществ см. на [www.scorecard.com](http://www.scorecard.com)

## 200 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

коррозии в морском воздухе). Пластиковый композит имеет хорошие показатели по предложению, воздействию на окружающую среду и потреблению энергии, но плохие по использованию рециклированного сырья и по рециклируемости. В этом примере ни один из материалов явно экологически не превосходит другой, но при сравнении алюминий оказывается слегка предпочтительней.

### 10.6 КОЛИЧЕСТВО МАТЕРИАЛА

Независимо от того, какой материал выбран для продукта, используемый объем может быть минимизирован в процессе тщательного проектирования, включающего анализ воздействий. Применение таких методов может сделать более тонкими стены и поддерживающие элементы, в особенности если используются обычные правила физического проектирования. Они рекомендуют:

- избегать острых углов для возможности использования более тонких стен (рис. 10.6, а);
- использовать больше поддерживающих ребер меньшего размера вместо нескольких больших (рис. 10.6, b);
- там, где использованы листы металла или пластика, добиваться прочности, обеспечивая поддержку выпуклостями (выдающимися стойками, включенными в укрепляющие отверстия, или установкой дополнительных блоков) и ребрами, а не использованием толстых листов (рис. 10.6, с);
- наугольники (поддерживающие элементы, которые придают дополнительную силу краю детали) могут помочь в проектировке тонкостенных кожухов (рис. 10.6, d);
- следует избегать металлической арматуры в неметаллических деталях. Если это невозможно, установите ее на отламывающиеся выпуклости (рис. 10.6, e).

После того как исследована минимизация объема первоначального материала, исследуйте также и замену его нетрадиционными материалами. Простым примером успешного применения этого подхода может быть переход от использования платины в автоматических каталитических конвертерах на использование в качестве катализатора палладия. Поскольку палладий гораздо более распространен и более дешев, чем платина и ро-

дий, используемый ранее с палладием в таких катализаторах, новый подход позволяет достичь как устойчивости, так и рыночного преимущества.

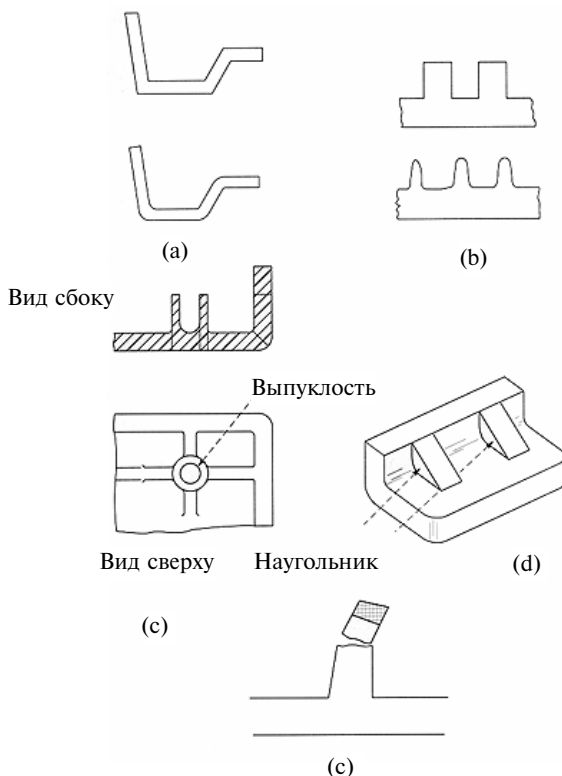


Рис. 10.6

Подходы к проектированию, минимизирующие объем материалов для осуществления желаемой функции: (а) переход к уменьшению толщины стен (предпочтителен нижний вариант); (б) проектирование ребер (предпочтителен нижний вариант); (с) использование втулок для усиления тонких стен; (д) использование угловых соединений для поддержания тонкой изогнутой детали; (е) металлическая вставка в отламывающуюся выпуклость (Адаптировано из кратких сообщений J.R. Kirby I. и Wadhera, IBM Corporation.)

## 202 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### 10.7 РУКОВОДСТВО ПО ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ

Когда для полноты картины одновременно рассматривают предложения и токсичность материалов, находят, что одни материалы явно предпочтительнее других. Поскольку их предложение достаточно (и/или хорош потенциал для рециклирования) и поскольку у них нет серьезных проблем с токсичностью, мы рекомендуем, чтобы конструкторы исследовали использование Al, C, Fe, Mn, Si и Ti. Наоборот, поскольку ожидается дефицит и/или существуют серьезные проблемы с токсичностью, мы рекомендуем, чтобы конструкторы попытались ограничить использование или вовсе избежать его следующие элементы, в отношении всех из которых был использован рейтинг «высокий» или «крайне высокий» в табл. 10.5: As, Au, Be, Cd, Cs, Ge, Hg, In, Pb, Re, Tc, Tl и Zn. Возможно, за исключением урана в ядерной энергетике, следует избегать применения радиоактивных элементов Ac, At, Fr, Pa, Po, Rn и Th; большинство чрезвычайно редки в любом случае. Менее точный совет возможен в случае многих молекулярных и композитных материалов, которые так интенсивно используются в современной технологии. Анализ на соответствие экономатериалам, который был описан ранее в этой главе, обеспечивает средство выбора среди материалов, чьи разнообразные характеристики представляют целый спектр экологических проблем.

Для специалистов по физическому проектированию процесс выбора материалов может быть резюмирован в четырех коротких целях:

- попытаться получить необходимые материалы из рециклированных потоков, а не из потоков первичных ресурсов;
- по возможности выбирать распространенные, нетоксичные, нерегулируемые материалы. Если для производственного процесса требуются токсичные материалы, попытаться производить их на месте, а не перевозить производимые где-то опасные материалы;
- проектировать с учетом минимального использования материалов в продуктах, процессах и услугах;
- проектировать для долгого срока жизни, возможного ремонта и рециклирования, увеличивать полезность материала



лов, как-либо используемых, и обеспечивать восстановление материалов, когда такое использование прекращается.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

- Ashby, M.F., *Materials Selection in Mechanical Design*, London: Butterworth Heinemann, 1992.
- Furuyama, T., Ecomaterials selection guide and green procurement system at Toshiba, *Proceedings of the Fifth International Conference on Ecomaterials*, Tokyo: Society for Non-Traditional Technology, A2-3, 2001.
- Grubler, A., *Technology and Global Change*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1998.
- Kesler, S.E., *Mineral Resources, Economics, and the Environment*, New York: Macmillan, 1994.
- Kosbar, L.L., J.D. Gelorme, R.M. Japp, and W.T. Fotorny, Introducing biobased materials into the electronics industry: Developing a lignin-based resin for printed wiring boards, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (3), 93–105, 2001.
- Wernick, I.K., R. Herman, S. Govind, and J.H. Ausubel, Materialization and dematerialization: Measures and trends, in *Technological Trajectories and the Human Environment*, J.H. Ausubel and H.D. Langford, eds., 135-156, Washington, DC: National Academy Press, 1997

## УПРАЖНЕНИЯ

- 10.1** В 1991 г. в мире было произведено почти  $2,5 \cdot 10^9$  тонн отходов от переработки руды. Если средняя плотность этой руды  $4,5 \text{ г/см}^3$ , какой длины был бы ряд грузовиков, везущих эту руду, если каждый грузовик вмещает  $2,5 \text{ м}^3$  руды и имеет длину 6 м?
- 10.2** Не принимая во внимание издержки как фактор, какой в следующих парах материал должны предпочитать конструкторы продуктов и процессов: (а) титан или олово; (b) толуол или гептан; (с) олово или висмут; (4) бериллий или олово; (е) титан или ванадий? Почему?
- 10.3** Сформируйте команду проектирования с двумя-тремя студентами. Выберите умеренно сложный продукт, такой, как кофеварка, проектор или газонокосилка. Исследуйте продукт (разбирая его, если это необходимо) и предложите альтернативы по проектированию, которые сохраняют функцию, но в некоторой степени уменьшат количество использованного в ней продукта.

## Г Л А В А 11

# Проектирование в целях повышения энергоэффективности

### 11.1 ЭНЕРГИЯ И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Промышленность использует значительные объемы энергии и, как следствие, вносит значительный вклад в связанные с энергией экологические проблемы. В Соединенных Штатах, например, на производственную деятельность тратится около 30% всей потребляемой энергии, и значительная часть этой энергии используется очень неэффективно. Рис. 11.1 показывает, что использование электроэнергии (в основном получаемой при сжигании ископаемого топлива) концентрируется в нескольких секторах промышленности, так что шесть отраслей потребляют более 85% общей промышленной энергии или энергетических эквивалентов. Однако эта информация ничего не говорит об эффективности, с которой эта энергия используется. Полезный показатель промышленного использования энергии, хотя и не полностью удовлетворительный, — энергонапряженность, потребление энергии на доллар валового внутреннего продукта. Энергонапряженность отдельных корпораций в рамках той же отрасли сильно отличается. Обычно отрасли, имеющие дело в основном с сырьем, а не с конечными продуктами или полуфабрикатами, имеют более высокую энергонапряженность.

Хотя в центре внимания этой главы — изучение того, как используется энергия и как сократить ее использование при продолжении производственных операций, также имеет смысл упомянуть и о последствиях производства энергии, поскольку инженеры предприятий и процессов иногда имеют возможность выбирать источники энергии, которыми можно пользоваться. В этой связи в табл. 11.1 мы приводим виды загрязнителей воздуха, образующихся в различных процессах производства энергии. Таблица иллюстрирует хорошо известный факт, что энергия, получаемая при сжигании ископаемого топлива, потенциально

11 Проектирование в целях повышения энергоэффективности **205**

более экологически опасна, чем энергия, производимая ядерными или возобновимыми источниками, по крайней мере в том, что касается атмосферы. Сжигание отходов — средний по воздействию метод, и его способность служить альтернативой захоронению отходов, а также источником энергии делает его пригодным для некоторых видов промышленного использования. В максимально возможной степени энергия, полученная для промышленного использования, должна быть из экологически предпочтительных источников.

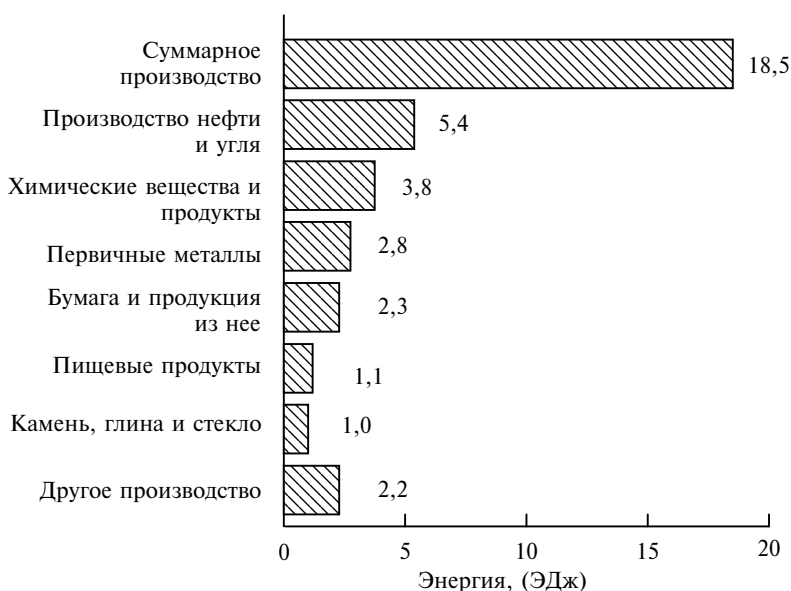


Рис. 11.1

Потребление энергии в отдельных отраслях промышленности (Источник: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, *Manufacturing Energy Consumption Survey: Changes in Energy Efficiency 1980-1985*, DOA/EIA-0516(85), Washington, DC, 1990.)

Энергоэффективность часто должна быть сбалансирована с токсичностью. Например, более эффективное освещение основано на использовании в лампах паров ртути, а многие катализаторы, которые сокращают потребление энергии в промышленности и в быту, либо токсичны, либо относятся к редким

## 206 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

невозобновимым ресурсам. Сверхпроводящие материалы могут обеспечить возможность значительного сохранения энергии, но в них вероятно содержание токсичных материалов. Выявление и разрешение этих ситуаций «балансировки воздействий» — сложная, но необходимая задача на пути развития продуктов и процессов в направлении устойчивости.

ТАБЛИЦА 11.1 Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу в процессе производства энергии

Процесс	Вещества						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl	Частицы
Ископаемые источники энергии	*	*	*	*			*
Уголь	*	*	*	*			
Нефть	*	*	*				
Природный газ							
Другие антропогенные источники энергии							
Атомная энергия							
Сжигание отходов	*					*	*
Сжигание биомассы	*	*	*				*
Природные источники энергии							
Гидротермальный поток							
Солнечная энергия					*		
Энергия воды							
Энергия ветра							

## 11.2 ОТРАСЛИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Хотя секторы добычи и переработки материалов имеют наивысшую энергонапряженность, эти отрасли служат поставщиками для промежуточных перерабатывающих отраслей, поэтому нельзя планировать сокращение промышленного использования энергии путем ликвидации добывающих отраслей. Напротив, необходимо исследовать возможности сокращения энергонапряженности добывающих отраслей. Из группы отраслей, показанных на рис. 11.1, отрасль с наибольшим потреблением энергии — производство нефти и угля. Десульфуризация нефти-сырца и производство высокооктанового бензина без использования металлосодержащих добавок предъявляют постоянно увеличивающиеся энергетические требования к процессу очистки. Операциями по очистке обычно тщательно управляют, стараясь

при этом увеличивать эффективность, но совместное производство, обмен теплом и предотвращение утечек, по-видимому, тоже предлагают возможности для дальнейших улучшений.

Химические вещества и химические продукты находятся на втором месте среди отраслей (рис. 11.1), хотя около трети показанного объема представлено нефтью и природным газом, используемым как сырье для продуктов, а не как топливо для производства энергии. Из оставшихся двух третей значительное количество используется для образования или поглощения тепла за счет разницы температур между потоками процесса и потоками нагрева и охлаждения. Производство сжатых газов — это другая энергоемкая сфера: около 70% издержек газов представляют издержки электроэнергии, и, таким образом, улучшение энергоэффективности обладает потенциалом для большой отдачи в этой отрасли. Физические проектировщики разрабатывают процессы, которые минимизируют эти температурные различия путем лучшего использования тепла на заводах, путем реконструкции процесса, включающей различные виды сырья или лучшие катализаторы, или путем сбора тепла процесса для последующего использования или продажи. Их опыт может быть продемонстрирован на примере достойного похвалы сокращения потребляемой энергии на единицу производимого продукта в химической промышленности США (рис. 11.2). За период 1970—1999 гг. эта мера энергоэффективности улучшилась почти на 50%.



Рис. 11.2

Год

Количество электроэнергии, необходимой для химической промышленности США на производство единицы продукта, 1986—2000 гг. (W.J. Storck, Chemical industry is more energy efficient, *Chemical & Engineering News*, 79 (6), 19, 2001.)

## 208 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Первичные металлы в третьей отрасли приведены на рис. 11.1. Хотя добыча и перевозка руды достаточно энергоемки, основная доля энергозатрат приходится на дробление породы, добычу руды, на образование больших объемов тепла, необходимого для извлечения из руды металла и на производство слитков и других очищенных продуктов. Исторически основные изменения в использовании энергии в первичной металлургии возникли как результат введения новых процессов. В случае стали, например, относительно современные дуговые электропечи гораздо более эффективны, чем более старые открытые металлоприемники или простые кислородные процессы. Другой пример — значительное историческое сокращение потребления электроэнергии, необходимой для производства алюминия, показанное на рис. 11.3.

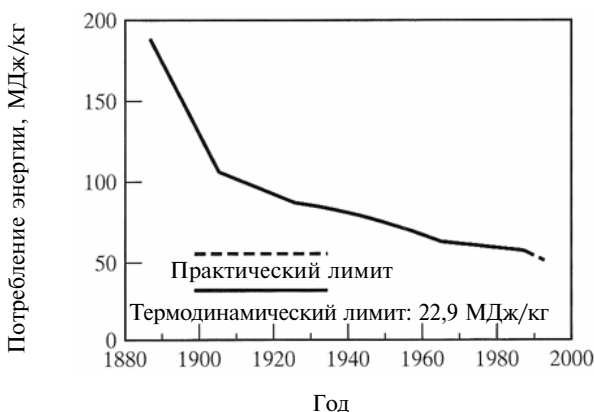


Рис. 11.3

Потребление электроэнергии в производстве алюминия (Адаптировано из P.R. Atkins, D. Willoughby, and H.J. Hittner, in *Energy and the Environment in the 21<sup>st</sup> Century*, J.W. Tester, D.O. Wood, and N.A. Ferrari, eds., 383—387, Cambridge, MA: MIT Press, 1991.)

Стоит отметить, что для алюминия и других металлов затраты приближаются к практическим и термодинамическим лимитам энергии, необходимой для переработки, подсказывая, что основные выигрыши от изменения самих процессов, возможно, уже получены в среде наиболее продвинутых производителей.

### **11.3 ОТРАСЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ**

Отрасли промежуточной обработки слишком разнообразны для того, чтобы их обсуждать индивидуально, но можно описать общие методы улучшения их энергоэффективности. Наиболее простым представляется использование компьютерных систем для управления использованием энергии. Общая идея такова, что энергия должна использоваться только тогда, когда она нужна, и не потому, что недосмотр или отсутствие персонала на месте делают ее непрактичной для организации контроля. Поэтому оборудование должно запускаться и останавливаться тогда, когда это диктуют время суток или показания сенсоров, которые отслеживают характеристики потока продуктов. Среди типов использующего энергию оборудования, которое может контролироваться таким образом, — двигатели, котлы, вентиляторы и лампы.

Второй метод, обсуждавшийся ранее в связи с химической промышленностью, — использование корпорациями или их инфраструктурными партнерами остаточного тепла процессов, продуктов, выбросов и так далее. Часто эти действия будут принимать форму усиленного внимания к модернизации процессов, чтобы оптимизировать теплообмен между материальными потоками. С другой стороны, тепло может обслуживать несвязанные процессы, как в корпорации Nova, которая использует остаточное тепло компрессорной станции природного газа в Альберте, Канада, для обогрева парников, где выращивают цветы, растения и саженцы деревьев.

В третьих, может быть увеличено использование современных двигателей, особенно с приводами с переменной скоростью. Выгоды, которые можно ожидать, во многом зависят от приложения, но сокращение использования энергии на 20—50% были выявлены в нескольких тестовых случаях.

### **11.4 АНАЛИЗИРУЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ**

Часто в промышленности дело обстоит так, что количество энергии, требуемой для работы предприятия, хорошо отслеживается, в то время как энергия, требуемая для каждой отдельной операции или группы операций на предприятии, не известна. В таких случаях рекомендуется энергетический аудит, чтобы показать, где скрыты возможности для выгод, а также для наполне-

## 210 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ния данными «зеленых» систем учета. Рис. 11.4 показывает такой аудит предприятия, использующего нефть, уголь и электроэнергию для обеспечения трех различных промышленных процессов, а также освещения и отопления. Диаграмма демонстрирует, что потерь энергии процесса А более чем достаточно для работы процессов В и С, а также для отопления и освещения всего завода в придачу. Диаграмма также свидетельствует о том, что потери в котле были бы высоко приоритетными по возможностям улучшения и потери пара также, по-видимому, представляют значительные возможности.

Для отдельного процесса желательна ревизия использования энергии на каждом этапе добычи ресурса, переработки и производства. Например, в производстве алюминиевых емкостей (рис. 11.5) основное количество энергии тратится на разделение и очистку алюминия, содержащегося в руде. Производство листов и емкостей также важно, но на гораздо меньшем уровне. Транспортировка материала между этапами вносит незначительный вклад в общее использование энергии. Имея эту информацию в качестве основы, можно было бы увеличить объем рециклированного сырья, используемого для производства металлических продуктов, а не добывать металлы напрямую из руды. Хотя алюминий дает величайшую возможность сбережения энергии путем рециклирования, использование многих других видов лома может приводить к экономии энергии 30% и более.

Чтобы изучить последствия использования энергии для первичного сырья и рециклированного материала, рассмотрим процесс, показанный на рис. 11.6.

Каждый этап переработки имеет связанное с ним количество энергии на единицу выпуска. Для простоты мы выбрали единицу выпуска 1 кг,  $\beta$  — доля потока, которая немедленно используется как «быстрый лом», а не выпускаемый материал: брак, вертикальные литники, ходовые ролики (бегунки, роторы), отходы токарной обработки и т.д. Энергия, потребляемая на производство 1 кг выпускаемого материала, вычисляется по формуле

$$\Phi = E_p + E_f(1 + \beta) + E_m(1 + \beta) = E_p + (E_f + E_m)(1 + \beta). \quad (11.1)$$

Из этого уравнения очевидно, что производственные операции, в которых образуется меньшая доля лома, потребуют меньше энергии на единицу выпуска, чем те, где должна быть вновь переработана большая доля материала.



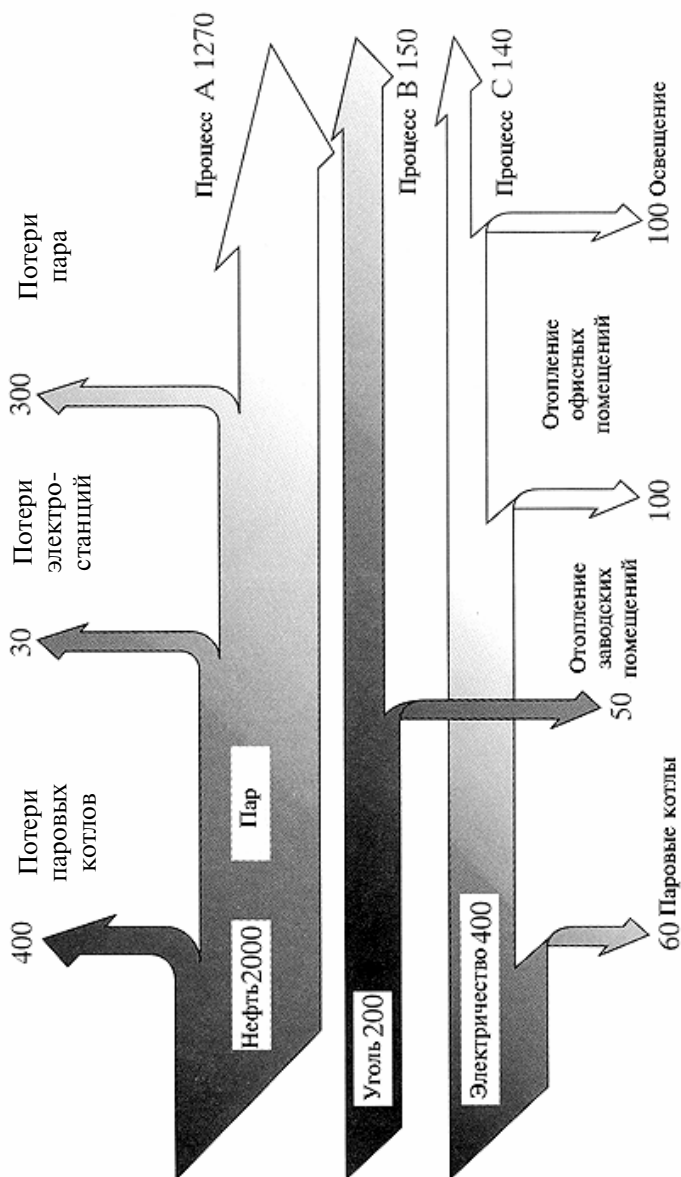


Рис. 11.4

«Диаграмма Санки» источников использования и потерь энергии типичным промышленным предприятием. Единицы произвольны

212 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

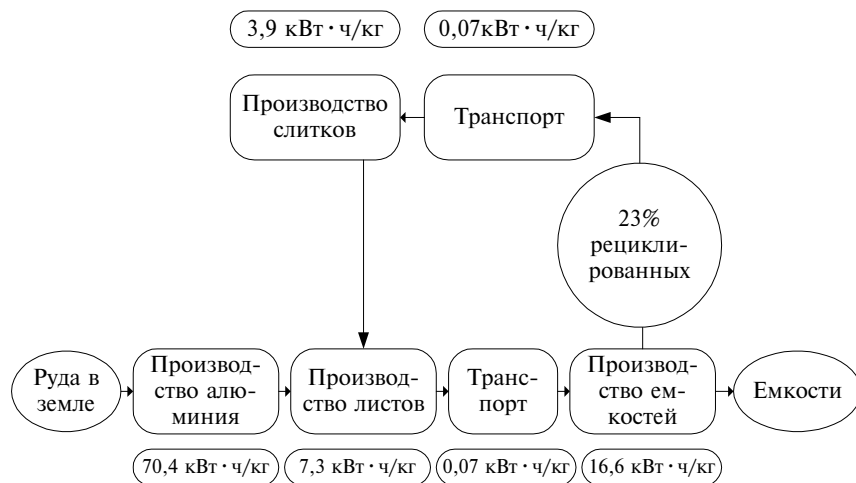


Рис. 11.5

Диаграмма использования энергии в процессе производства алюминиевых емкостей

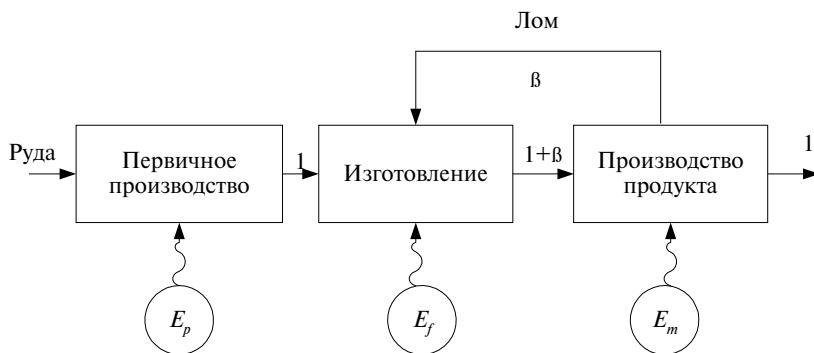


Рис. 11.6

Схема системы переработки материала, использующей только первичное сырье (Адаптировано из P.F. Chapman and F. Roberts, *Metal Resources and Energy*, Boston, MA: Butterworths, 1983.)

Для промышленной экологии более подходит технологический маршрут, в котором используется как первичное, так и рециклированное сырье. Последнее должно проходить только вторичное производство, которое обычно гораздо менее энергоемко, чем первичное. Ситуация иллюстрируется на рис. 11.7, где  $\phi$  — доля выпуска материала в первичном производстве,  $\Omega$  — объем материала, поступающего в виде руды, и  $\Psi$  — объем материала, поступающего в процесс в виде лома. Энергия, потребляемая этой системой на производство продукции, определяется выражением

$$\begin{aligned} \Phi &= E_p(\phi)(1 + \beta) + E_s(1 - \phi)(1 + \beta) + E_f(1 + \beta) + E_m)(1 + \beta) = \\ &= (\phi E_p + (1 - \phi) E_s + E_f + E_m)(1 + \beta). \end{aligned} \quad (11.2)$$

Поскольку  $E_p \gg E_s$ , потребление энергии минимизируют, задавая  $\phi$  и  $\beta$  как можно меньше. В этой связи следует отметить, что проектировщики продукта, которые определяют первичные материалы для этих продуктов, могут не указывать напрямую тех высоких энергетических затрат, которые потребуются в результате, но спецификация первичного сырья показывает, что в некоторой точке производственной системы затраты были.

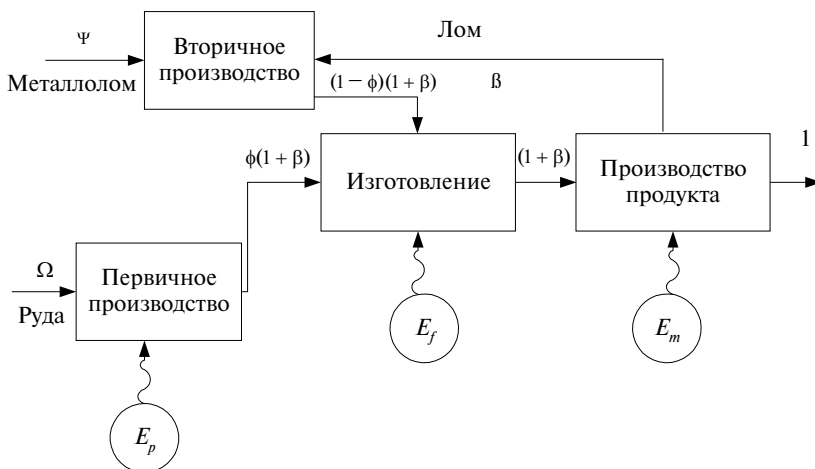


Рис 11.7

Схема системы переработки металла, использующей как первичное сырье, так и металлолом (Адаптировано из P.F. Chapman and F. Roberts, *Metal Resources and Energy*, Boston, MA: Butterworths, 1983.)

## **214** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### **11.5 ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К МИНИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

Сбережение энергии во всех своих аспектах — это хороший менеджмент, ответственные действия и прогресс на пути к выросшей прибыльности компании, и здесь помогает каждая малость. В предыдущих параграфах мы упомянули аспекты сбережения энергии, относящиеся к определенным отраслям. В этом разделе мы обсуждаем несколько более общие подходы к промышленному использованию энергии, которые могут быть применены во всех секторах промышленности.

#### **11.5.1 ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА**

Чем «легче» отрасль, тем больше доля энергии, которая будет использована на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха (HVAC)\*. Это не только из-за того, что легкая промышленность по сути требует меньше энергии, чем тяжелая, но также потому, что ее производственные операции часто включают точный контроль внутренней среды предприятия. Значительная экономия энергии может быть достигнута за счет улучшения «эффективности оболочки» зданий, т.е. герметизации, отделки окон, надлежащей посадки деревьев и кустарников и т.п. Контроль за состоянием оборудования HVAC часто вообще не осуществляется, а ведь он способен быть очень выгодным. Основные выгоды может принести замена устаревшего оборудования HVAC современным, управляемым компьютером, который потребляет на 30—90% меньше энергии в зависимости от специфики использования.

#### **11.5.2 ОСВЕЩЕНИЕ**

Обеспечение надлежащего освещения часто составляет более 20% промышленного использования энергии. Как показывает рис. 11.8, существует много возможных подходов к обеспечению надлежащего освещения. Традиционное использование ламп накаливания или флуоресцентных ламп без хороших отражате-

---

\* HVAC — heating, ventilating, air conditioning.

## 11 Проектирование в целях повышения энергоэффективности **215**

лей, электронных балластов и высокоэффективных колб может быть без труда улучшено, часто с периодом окупаемости менее двух лет. Обычно та же освещенность может быть обеспечена за счет 1/10 или 1/15 потребления энергии ламп накаливания.

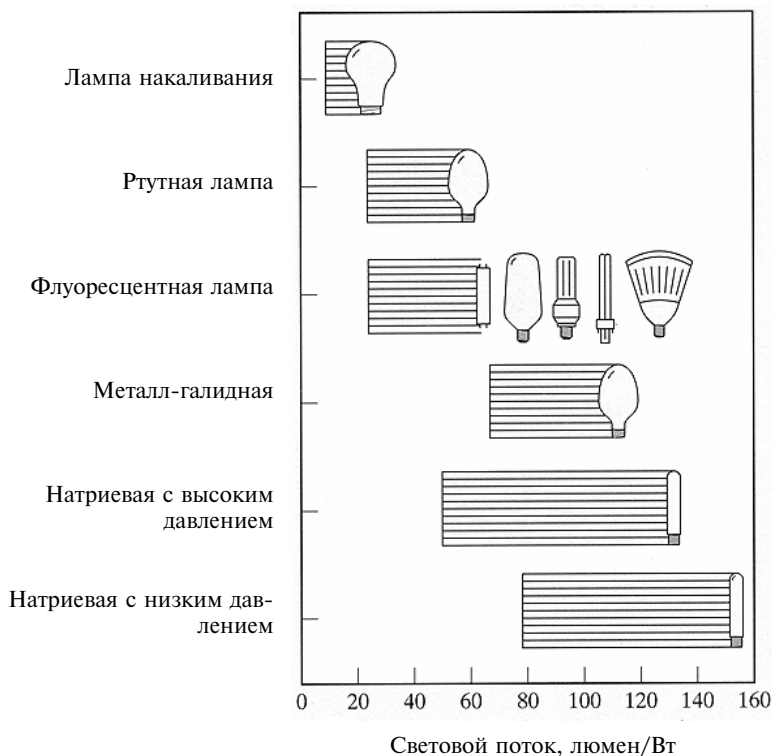


Рис. 11.8

Диапазон энергоэффективности (U.S. Department of Energy, *Energy-Efficient Lighting*, DOE/CE-0162, Washington, DC, 1986.)

### 11.5.3 ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ НА МЕСТАХ

Помимо сокращения использования энергии выгодна энергия, которая имеется на производственном предприятии, но не используется. Обычно это тепло процессов. Если оно не участвует в теплообмене, оно часто оказывается доступным для генерирования электроэнергии на месте. Один из способов сделать это —

## 216 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

использование тепла и энергии одного термодинамического цикла, т.е. когенерации. Существует множество ее разновидностей, одна из которых показана на рис. 11.9. В этих интегрированных энергетических системах (integrated energy systems, IES) поток энергии — это желательный выпуск, как и поток продуктов. Любая дополнительная энергия, которая образуется, может быть продана обратно поставщику электроэнергии, став маленьким вкладом в интегрированную энергетическую сеть, или, возможно, быть сохранена в химических соединениях для последующего освобождения и использования.

В ряде промышленных предприятий, включая сталелитейные заводы, нефтехимические комплексы и нефтеперерабатывающие заводы, можно использовать поток отходов процесса, например горючих углеводородов, как топливо для получения энергии. В зависимости от типа процесса, доступности и стоимости коммерческой энергии конструирование и создание мощности IES может быть хорошим способом использовать доступные ресурсы для разных целей.

Воздействия на окружающую среду в мощностях IES иногда могут быть минимизированы путем тщательного отбора источников энергии. Например, биотопливо может быть вариантом в одних местах, энергия воды — в других. Необычный, но достойный похвалы пример перехода на другой источник энергии — пример фабрики Monsanto's Saugnet, Иллинойс, которая производит энергию путем сжигания смеси дробленого лома шин и угля. Смесь сжигать дешевле и чище, чем чистый уголь, и фабрика использует около 1 млн шин в год.

Иногда переход на другой источник энергии среди более обычных источников гарантирован, если может быть уменьшено общее воздействие на окружающую среду. Выбор может делаться, таким образом, между вариантами ископаемого топлива или другими потенциальными источниками. Успешным примером этого принципа может послужить производственное предприятие Lucent Technologies в Колумбии, Огайо, которое покупает на сжигание метан на находящемся по соседству полигоне отходов. Этот газ, продукт анаэробного биологического разложения веществ, хранящихся на полигоне, который в противном случае попал бы в атмосферу и способствовал бы глобальному потеплению, используется вместо ископаемого природного газа.



## 218 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### 11.5.4 ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ВЕДЕНИЕ ХОЗЯЙСТВА

Хорошее управление энергией включает в себя принятие промышленной ситуации такой, какая она есть, и выработку способов ее коррекции или изменения для того, чтобы она стала более энергоэффективной. Возможностей — в изобилии. Например, персональные компьютеры сейчас используют более 5% всей энергии в бизнесе, поэтому более эффективно спроектированные компьютеры или одновременная экономия используемой ими энергии могут заметно сократить потребление. Важно понимать, что, поскольку все используют энергию на своих рабочих местах, каждый может внести полезный вклад в сбережение энергии в офисах, лабораториях и производственных комплексах.

Особенно успешное соревнование по сбережению энергии сотрудниками было инициировано Луизианским отделением компании Dow Chemical в 1982 г. Во многих улучшениях были использованы методы, полезные для всей отрасли в целом: толстая изоляция труб, несущих горячие жидкости, частая очистка поверхностей теплообменников для улучшения эффективности передачи тепла и использование точечных нагревателей жидкости там, где хранение или длинные трубопроводы создают возможность потерь тепла. Результаты соревнования по энергосбережению приведены в табл. 11.2.

ТАБЛИЦА 11.2 Результаты соревнования по энергосбережению: Луизианское отделение, Dow Chemical

	1982	1984	1986	1988	1990	1992
Выигравшие проекты	27	38	60	94	115	109
Средняя прибыль на инвестиции, %	173	208	106	182	122	305

Данные из К.Е. Nelson, *Practical techniques for saving energy and reducing waste, Industrial Ecology and Global Change*, R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, and V. Thomas, eds., Cambridge University Press, 1994.

В таблице отражены два важных момента. Один заключается в том, что все хорошие проекты не были рассмотрены в первый год. Скорее всего, хорошие идеи продолжали поступать. Второй момент заключается в том, что отдача на инвестиции значи-



тельна и ее легко продемонстрировать. За период 1982—1992 г. сбережения корпорации, оставшиеся после вычета относительно небольших издержек, связанных с реализацией некоторых идей, составили около 170 млн долл.

## 11.6 РЕЗЮМЕ

Энергия дает пример ситуации, в которой проектировщик процесса играет такую же или более крупную роль, чем разработчик продукта. Как и в большинстве ситуаций, совместные усилия обоих, вероятно, дадут наибольшие сбережения энергии, способствуя эффективному и действенному производству. Возможно, больше чем другие темы, обсужденные в этой книге, минимизация энергии — в особенности подходящая сфера для постепенных изменений, так же как и для полного изменения процесса. В то время как мы пишем эти строки, некоторые страны устанавливают налог на выбросы углерода, другие устанавливают требования по использованию энергии для промышленных продуктов. Как эти требования будут изменяться, мы еще увидим, но мало сомнений в том, что энергия будет и дальше дорожать, в то время как ресурсы сокращаются в соответствии со спросом со стороны растущего населения планеты, а вопросы охраны окружающей среды вдохновляют законодательную деятельность. Сокращение и изменение способа использования энергии, таким образом, крайне вероятно будут хорошими инвестициями в будущую прибыльность корпораций, а также в экологическую ответственность.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Brown, M.A., M.D. Levine, J.P. Romm, A.H. Rosenfeld, and J.G. Koomey, Engineering-economic studies of energy technologies to reduce greenhouse gas emissions: Opportunities and challenges, *Annual Review of Energy and the Environment*, 23,287—385,1998.

Hoffman, J.S., Pollution prevention as a market-enhancing strategy: A storehouse of economical and environmental opportunities, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89, 832—834,1992.

Ross, M., Improving the efficiency of electricity use in manufacturing, *Science*, 244, 311—317, 1989.

## 220 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Special Issue, Energy for Planet Earth, *Scientific American*, 263 (3), September, 1990. Tester, J.W., D.O. Wood, and N.A. Ferrari, Eds., *Energy and the Environment in the 21st Century*, Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

### УПРАЖНЕНИЯ

- 11.1 Рассмотрите систему переработки сырья, показанную на рис. 11.6, при  $E_p = 31$  ГДж/т,  $E_f = 5$  ГДж/т,  $E_m = 5$  ГДж/т и  $\beta = 0,01$ . Вычислите  $\Phi$ .
- 11.2 К системе в предыдущей задаче добавьте составляющую вторичного производства для переработки лома с  $E_p = 9$  ГДж/т и  $\phi = 0,7$ . Определите  $\Psi$ ,  $\Omega$  и  $\Phi$ .
- 11.3 В системе из задачи 11.2 доля  $\lambda$  материала, поступающего в процесс первичного производства, безвозвратно теряется на шлак. Преобразуйте уравнение 11.2 с учетом этой потери. Вычислите  $\Psi$ ,  $\Omega$  и  $\Phi$  для  $\lambda = 0,2$ .
- 11.4 В офисном здании в вашем микрорайоне 50 офисов, в каждом в среднем по четыре стола. Каждый стол имеет настольную лампу, которая может использовать либо 60-ваттную лампу накаливания или 13-ваттную флуоресцентную. В среднем лампа используется 7 часов в день. Сколько требуется энергии для всего здания в год для каждого из этих двух вариантов? В расчете на вашу местную стоимость электроэнергии определите ежегодные издержки этих двух вариантов. Если лампочка накаливания стоит 0,88 долл., а флуоресцентная 12 долл., сколько времени будет окупаться покупка флуоресцентных элементов при условии, что все детали будут куплены новыми?

## Г Л А В А 12

# Доставка продукта

### 12.1 ВВЕДЕНИЕ

Детальное исследование показало, что около 30% всех муниципальных отходов составляют упаковочные материалы. Было установлено, что около трети всего производства пластика идет на краткосрочное использование в виде упаковки с последующим выбрасыванием. Для многих продуктов, например, обычных продуктов питания, упаковка — основной вид отходов после использования их потребителями. Использование токсичных материалов, таких, как тяжелые металлы в типографской краске на упаковке, для некоторых продуктов может быть первостепенным воздействием на окружающую среду. Должная упаковка продуктов всех видов, от больших объемов химических веществ до небольших потребительских предметов личного ухода, таким образом, играет важную роль в поддержании экологической устойчивости. Следует отметить, что многие программы экологических стандартов, например, немецкая («Blue Angel») требуют использования упаковки, которая полностью рециклируема, имеет максимальное содержание рециклированных материалов, не содержит токсичных веществ и, если это бумага, то не отбеленная. В то время как системы упаковки оказывали и оказывают значительное и выгодное воздействие на здоровье и безопасность потребителей и значительно сокращают объем отходов, в особенности в пищевых продуктах, во многих случаях можно сохранить эти выгоды, сокращая потенциальное воздействие на окружающую среду.

Важно то, что более трети всех товаров и услуг покупаются не отдельными потребителями, а другими предприятиями или правительственными агентствами. Упаковка в этих случаях рассматривается как элемент взаимоотношений «бизнес-бизнес», и есть возможность обсудить сокращение использования упаковки и улучшение.

Хотя упаковка относится к важным темам промышленной экологии, часто полагают, что она не находится в сфере деятельности физических проектировщиков, которые точно определяют процессы и продукты, вызывающие необходимость в

## 222 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

упаковке. Скорее, в наш век специализации доставка продуктов часто находится под контролем инженеров, специализирующихся на технологии упаковки и транспортировки. Конструкторы продуктов и процессов, таким образом, должны работать в тесном контакте с этими специалистами, чтобы видеть, что экологически ответственные продукты перевозятся экологически ответственно; лучший способ сделать это — включить инженера по упаковке в команду проектировщиков.

### 12.2 ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ УПАКОВКИ

Существуют несколько возможных уровней упаковки. Для некоторых продуктов вообще может не понадобиться упаковка. В других случаях необходима только *первичная упаковка*, т.е. упаковка, которая находится в физическом контакте с продуктом. Во многих случаях менее определена потребность во *вторичной* (дополнительном контейнере) или *третичной упаковке* (внешнем контейнере и связанного с ним материала). Процесс упаковки продукта всегда должен быть нацелен на использование минимального количества этапов. Однако различные приложения накладывают различные требования по упаковке. Например, некоторая упаковка пищевых продуктов достаточно сложна: пакет с картофельными чипсами может быть «сэндвичем» из семи или восьми различных компонентов или слоев, каждый с отдельной функцией (рис. 12.1). Насколько любой этап упаковки может быть исключен или упрощен, настолько поток отходов будет сокращен и будут минимизированы расходы производителя и поставщика на транспортировку и хранение.

Использование упаковки не обязательно включает образование отходов, которые необходимо выбросить или использовать повторно, поскольку некоторая часть упаковки может служить составной частью продукта, который она защищает. Например, стеклянные банки для джема, которые служат контейнерами для напитков после того, как джем использован, существовали много лет: часть упаковки некоторых компьютерных клавиатур может использоваться как чехол от пыли в течение срока жизни продукта. Однако упаковку необходимо рециклировать или повторно использовать. Это сделать проще всего, если она сделана из единственного материала, такого, как картон, собранный без скрепок. Следующими по качеству идут проекты упаковки, в

которых использован более чем один материал, но их делают легко делимыми, как крышку от бутылки из материала, отличного от материала самой бутылки или пенопластовую вставку в картонную коробку. Менее желательны смешанные материалы, которые трудно разделить чисто, как полиэтиленовая обертка, прикрепленная клеем на отвертку, закрепленную на картонном основании. Хуже всего — разнородные упаковочные материалы, связанные вместе, так что разделение в принципе невозможно, как, например, металлизированные пакеты, часто используемые для электронных печатных плат.

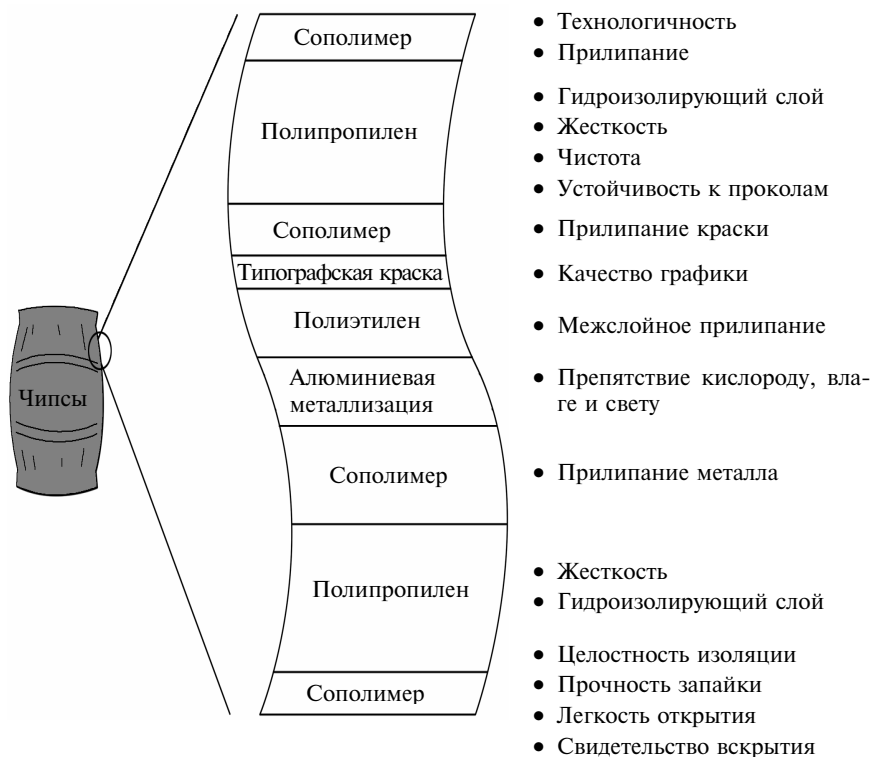


Рис. 12.1

Упаковка пакета чипсов (Office of Technology Assessment, *Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment*, Washington, DC: U.S. Congress, 1992.)

## 224 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Можно предложить порядок подходов к упаковке в убывающем порядке предпочтения:

- отсутствие упаковки;
- минимальная;
- используемая, возвращаемая или та, что можно повторно использовать;
- рециклируемая.

Этот список — всего лишь ориентир, поскольку инновационные решения в области упаковки для отдельных продуктов могут перевешивать порядок предпочтения, но это хорошая точка отсчета для инженера по упаковке.

Производителям следует рассчитывать на работу со своими покупателями, решая, как упаковывать их продукты. С точки зрения покупателей упаковка, поступающая на их предприятие или в их дом, — это материал, который им не нужен. В той степени, в которой инженеры в области упаковки могут сократить использование упаковки или разработать упаковку, которую проще рециклировать или использовать повторно, весь продукт становится более привлекательным. С другой стороны, многие покупатели и некоторые страны сейчас стимулируют производителей забирать упаковку продаваемых ими товаров обратно. Такие механизмы возврата могут принимать различные формы. Одна — это обсуждаемое соглашение, по которому контейнеры для потребляемой продукции (например, химические барабаны) возвращаются поставщику, когда приходит новая поставка. Вторая — это законодательное требование (Германия), чтобы все продавцы принимали у покупателей упаковку, в которой были доставлены их продукты. Этот обмен может произойти при покупке, если речь идет о внешней упаковке, или позже, как в случае, когда может быть возвращен пустой тюбик из-под зубной пасты. И в случае переговоров и в случае законодательного регулирования, когда компания получает назад свою упаковку, она имеет очень сильную мотивацию минимизировать объем этой упаковки и сделать ее легко рециклируемой и используемой повторно.

### 12.3 ПРОБЛЕМЫ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Первая цель при разработке твердой упаковки для продуктов — минимизировать ее насколько это возможно в соответствии с другими требованиями по упаковке. Среди возможностей минимизации — замена мягкими мешочками и бумажными коробками твердых пластиковых бутылок и банок для таких продуктов потребления, как моющие средства и кофе. Для смягчителей ткани и других жидкостей, которые могут продаваться в концентрированной форме, разведение их самими покупателями до нужной концентрации может обеспечить значительное сокращение размера упаковки; если это правильно подается рекламой, многие покупатели пожелают сделать этот маленький шаг. Аналогичные подходы к новой упаковке и концентрированию товаров бытовой химии могут использоваться и уже используются для промышленных и товарных продуктов, как, например, в европейской практике морской перевозки химических продуктов в запаянных пластиком бумажных мешках, а не в барабанах. Еще более привлекательна программа DuPont по отправке брикетов в мешках из материала, химически совместимого с материалом самих брикетов. Когда брикеты использованы, мешок может быть смят и брошен в измельчитель.

В сравнении с объемом упаковки, которая использовалась традиционно, сокращение объема может быть несложным. На рис. 12.2 показан пример, который иллюстрирует старую и новую упаковку клавиатуры персонального компьютера. Разность в объеме 30% была достигнута в результате серии тестов по проверке того, обладает ли новая упаковка хорошими защитными свойствами. Одно только это изменение оправдало усилия, поскольку меньшая упаковка была гораздо дешевле в перемещении, транспортировке и хранении. В дополнение к сокращению объема разнообразие материалов упаковки было существенно снижено использованием картонного внутреннего кожуха вместо пенопластового. В середине 1990-х проект компании NCR в Ойсо, Япония, затронувший все предприятие, с похожими целями произвел сокращение одних издержек упаковки на 3—30%. Пневматическая упаковка, в которой пластиковые вставки принимают любую форму, соответствующую форме коробки, может существенно упростить и удерживать упаковку.

## 226 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

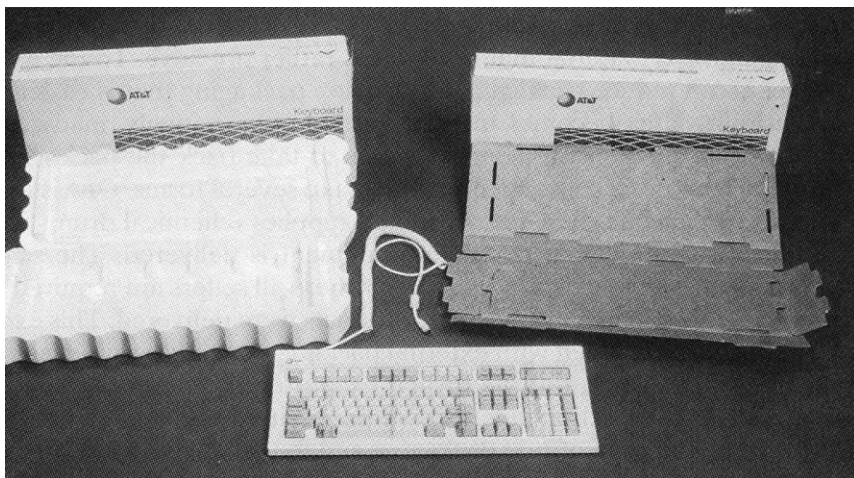


Рис 12.2

Упаковка для клавиатуры АТ&Т модели 6386. Слева упаковка 1988 г., с картонной наружной упаковкой и расширенной пенопластовой вставкой; справа упаковка 1990 г., вся из картона. Эта упаковка на 30% меньше, чем предыдущая

Институтом профессионалов по упаковке в Херндоне, шт. Вирджиния, был представлен список причин чрезмерного употребления упаковки:

- слишком осторожный подход к защите упакованных изделий;
- увеличение размера упаковки для предотвращения краж в магазинах;
- чрезмерно консервативные экологические тесты;
- требования упаковочного оборудования;
- декоративная или презентационная упаковка;
- увеличение размера упаковки для обеспечения места под информацию по управлению, информацию покупателю или нанесения штрих-кода.

Многие из этих причин могут быть преодолены разумным проектированием упаковки. Например, использование электронных систем защиты от краж способно исключить необходимость в большой доле чрезмерной упаковки, которая традиционно использовалась.



Как только минимизирован объем упаковки, следует рассмотреть, можно ли упаковку использовать повторно. Повторно используемая упаковка не ограничивается пенообразными «орешками»; она включает такие инновации, как «коуч-поуч» (*coach poach*) корпорации Ametek, композит пенопласта и полипропилена, который можно использовать повторно для перевозки мебели.

При проектировании экологически ответственной упаковки есть одно общее руководство: повторение природы. Насколько это возможно, использование природных материалов не создает проблем с токсичностью и разлагаемостью при захоронении. В некоторых областях рассматривается съедобная упаковка как вариант многих пищевых продуктов.

Разнообразие материалов в упаковке не удивляет, причина его кроется в различии физических и химических свойств упаковочных материалов и отсутствии внимания к рециклируемости упаковки. На рис. 12.3 приведен пример крупного модуля электронного оборудования. Во-первых, модуль размещается на деревянной подставке, которая сделана с полимерным покрытием для минимизации ущерба от вибрации во время перевозки. Затем на оборудование надевается пластиковый рукав для защиты от пыли. Блоки пенопласта добавляются для защиты верха модуля и ограничения его движения. На пенопласт и пластик помещается покрытие из гофрированного картона для защиты модуля во время транспортировки. Покрытие закрепляется стальными скобками. Общая система упаковки очень эффективна для защиты продукта во время перевозки. Однако при установке покупатель должен иметь дело с деревом, картоном, сталью, двумя типами пенопласта и пластиковым покрытием. Шансы, что большая часть этих материалов будет рециклирована, малы. Очевидно, инженер по упаковке из команды, проектировавшей продукт, стремящийся как к безопасной доставке, так и к экологическому превосходству в операциях по упаковке, мог бы существенно сократить разнообразие материалов.

Поскольку большинство упаковок в конечном итоге должны быть выброшены, они должны производиться из материалов, обладающих хорошей рециклируемостью. По возможности используемые материалы сами должны быть сделаны из рециклированного материала, а не из первичного сырья. Обычно это просто

## 228 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

для продуктов на бумажной основе: коробок, карточек с инструкцией, буклетов с информацией для покупателей и т.д. Это не так просто для упаковки, входящей в тесный контакт с продуктом: пластиковых бутылок, содержащих пищевые продукты либо производственные химикалии. Некоторые из этих контейнеров могут быть использованы повторно после очистки; некоторые могут быть рециклированы только в измененной форме. В любом случае пластиковые упаковочные материалы должны быть термопластичными, не термодформируемыми и их состав должен быть точно указан.

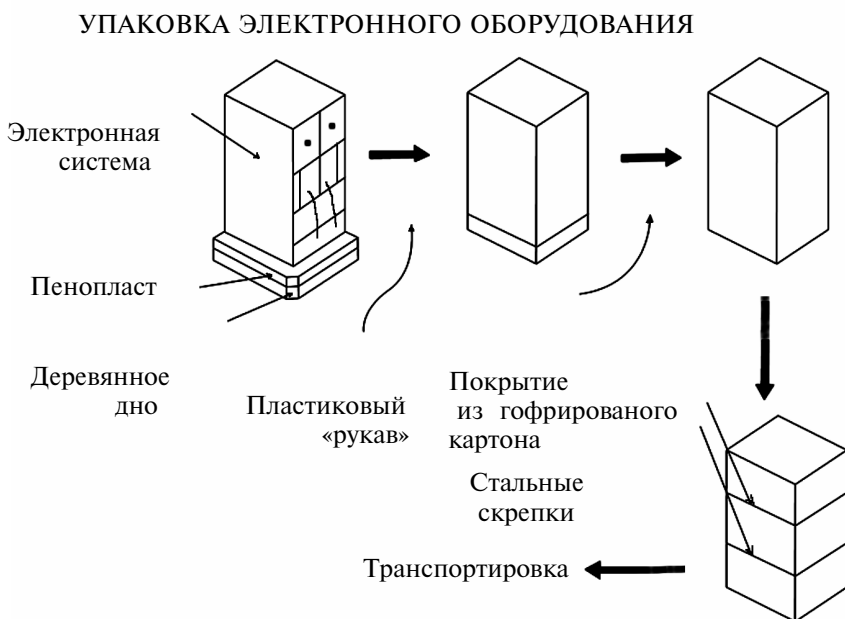


Рис. 12.3

Последовательность упаковки крупного электронного оборудования

Долгое время считали, что дерево оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, чем пластик. Это предположение, основанное главным образом на убеждении, что дерево разлагается быстрее, чем пластик, как было показано, сомнительно, поскольку на большинстве свалок происходит очень

незначительное биологическое разложение. Даже если бы био-разлагаемость была предпочтительней для продуктов деревооб-работки, это не так важно, если проектировщики планируют циклический процесс, а не захоронение отходов. Пластик обыч-но легче дерева, которое он заменяет, требует гораздо меньше энергии при производстве и часто имеет лучшие физические характеристики. Однако пластик — не возобновляемый ресурс в обозримом временном интервале, если только он не произво-дится из биологического сырья. Следовательно, дерево продол-жает играть важную роль, в особенности когда рассматривается долгосрочная устойчивость ресурсов.

Требует ли каждый продукт своей собственной упаковки? Не обязательно, говорят инженеры по упаковке, которые часто мо-гут минимизировать общий объем необходимой упаковки. Рас-пространенный пример — продажа наполнителей флаконов очистительного средства для окон и жидкого мыла в объеме, не подходящем для обычного использования, но подходящем для пополнения контейнеров в отделах сервисного обслуживания. Использование наполнителей также устраняет необходимость производить, использовать и выбрасывать распылительные го-ловки каждой бутылки продукта.

Заключительное правило при изготовлении упаковки — по-мещение информации по рециклированию упаковки на (или в) каждый контейнер и обеспечение инфраструктуры для возврата упаковки на повторное использование или рециклирование.

## 12.4 ЖИДКИЕ И ГАЗООБРАЗНЫЕ ВЫБРОСЫ И СБРОСЫ

Несмотря на то, что сбросы и выбросы жидких и газообразных веществ не представляются основной проблемой, связанной с упаковкой продукта, важно, чтобы об этом не забывали в случа-ях, когда они могут быть важны. Простой пример: стальной ба-рабан, используемый для перевозки жидких химических ве-ществ. Традиционно захоронение этих барабанов включало так-же и захоронение значительных количеств оставшихся химиче-ских веществ. Сейчас новая конструкция барабанов позволяет перед захоронением удалить изнутри практически все химиче-ские вещества. (Еще лучше, там где это возможно, барабаны многоразового использования).

Другим примером выбросов, связанных с упаковкой, явля-ются тяжелые металлы, традиционно используемые при изго-

## 230 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

товлении типографской краски. Эта практика вносит вклад в загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами во время производства и затем — при захоронении упаковки, обычно при попадании металлов в подземные и поверхностные воды.

### 12.5 ТРАНСПОРТИРОВКА И УСТАНОВКА

Во многих отношениях несколько противоречиво сначала рекомендовать минимальное использование материалов в упаковке, а затем — безопасную и беспроблемную перевозку, поскольку продукты должны быть защищены в пути от ударов, вибрации, конденсации, коррозионных газов и жидкостей, заражения насекомыми и температурных перепадов. Один из способов подойти к проблеме — понять, что только крупные продукты упаковываются и транспортируются индивидуально; большинство остальных отправляются в больших количествах в более крупных коробках, транспортных контейнерах, пластиковых оболочках и т.п.

Из-за того что упаковка продукта и упаковка для транспортировки часто различаются, у конструкторов есть две возможности подойти к упаковке с точки зрения промышленной экологии. Поэтому инженерам по упаковке и транспортировке необходимо работать вместе, чтобы оптимизировать комбинации множественной упаковки продукта для транспортировки и индивидуальной упаковки продукта. Например, может случиться так, что хорошая противоударная защита в упаковке продукта может минимизировать необходимость защиты от ударов всего транспортного контейнера, и наоборот. Решение по подходящему способу упаковки может зависеть от режима транспортировки продукта и от экологических воздействий, которые испытывает продукт. Командный подход, включающий работу вместе с транспортной фирмой, обеспечивает другой путь оптимизации конструкции (в этом случае — конструкции упаковки) с точки зрения промышленной экологии. Использование многоцелевых транспортных контейнеров там, где это возможно, обладает потенциалом сократить несколько этапов в обычной последовательности упаковка—распаковка—повторная упаковка, с экономией как в эффективности, так и в образовании отходов.

Сам процесс транспортировки, осуществляемый транспортными средствами компании или транспортными подрядчиками, предполагает возможности минимизировать воздействия на ок-

ружающую среду. Если продукт сам по себе опасен, содержит опасные компоненты или потенциально может быть разлит или выпущен в атмосферу, транспортные пути должны выбираться так, чтобы минимизировать возможные контакты с людьми или с экологически чувствительными областями. Водители должны уметь избегать проблем или решать их, если те возникнут. Наконец, не имеет значения, каков продукт, доставка дает возможность собрать упаковочный материал и повторно использовать его или рециклировать.

Воздействие транспортировки деталей на завод и затем транспортировки продуктов с завода потребителям слишком часто рассматривается как не относящееся к воздействию продукта на окружающую среду. Сегодня довольно часто детали и агрегаты производятся во многих странах по всему миру, затем доставляются в одно или несколько мест для конечной сборки в продукт, который, в свою очередь, отправляется по всему миру. Японцы организовали эффективную систему производства и снабжения JIT («точно в срок», *just-in-time*), что значительно увеличило количество, а также ежедневные рабочие циклы транспортных средств в Токио. В результате — значительное и нежелательное увеличение загруженности транспортных путей и прямой вклад в загрязнение воздуха.

Установка более крупного и сложного оборудования часто осуществляется производителем. В зависимости от продукта этап установки может нести с собой возможность ухудшения состояния окружающей среды. Примеры включают подземные резервуары хранения для жидкостей, трубопроводы жидкостей и газов и закладку межконтинентальных коммуникационных кабелей. Наиболее простая рекомендация в этих ситуациях — минимизировать разрушение окружающей среды и не рассматривать чувствительные области в качестве мест осуществления крупных проектов, в особенности тех, реализация которых приведет к значительным выбросам. Идеальным решением промышленной экологии, однако, остается разработка продуктов или конструирование социальных сетей, которые вовсе избегают таких преобразований. Примером может служить быстро развивающаяся сейчас сотовая телефонная связь. Используя радиосигналы, конструкторы двигаются в направлении такого мира, в котором связь вовсе не требует закопанных в землю или поднятых над ней проводов и кабелей.

## **Транспортировка химических веществ по железной дороге**

Значительное количество химических веществ перевозится от производителя к покупателю по железной дороге. Поскольку химические вещества могут быть пролиты при операциях погрузки и разгрузки и поскольку время от времени на железной дороге происходят аварии, важный аспект анализа жизненного цикла для этих веществ включает степень, до которой можно избежать или минимизировать влияние этой деятельности. Во многих частях мира производители создают партнерства с владельцами железных дорог для обеспечения экологически ответственной транспортировки их продуктов. В случае Южно-Тихоокеанской железной дороги в США совместные программы обучения, включающие производителей химикатов и их покупателей, помогают обеспечить надлежащую погрузку и разгрузку машин. Для транспортного этапа операции железная дорога предоставляет текущие данные о спасательных службах вдоль всех ее линий, а также карты, показывающие расположение аварийного оборудования и пути доступа к нему.

В результате этих действий аварии, связанные с перемещаемыми по железной дороге химическими веществами, происходят гораздо реже, а меры принимаются гораздо быстрее и более эффективные.

---

## **12.6 ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗЮМЕ**

Упаковка и транспортировка — стадии, на которых производитель имеет возможность показать покупателю экологически ответственные характеристики своих продуктов. Поведение многих производителей в этом отношении не было похвальным. Их подход слишком часто заключался в том, чтобы делать необоснованные или по крайней мере неподтвержденные заявления об экологической привлекательности упаковки своих продуктов. В противоположность этому продукты, которые спроектированы ответственно, редко рекламируются и продаются с достаточной информацией для покупателя. Мы рекомендуем, чтобы внешняя упаковка и какая-либо другая детальная информация, такая, как инструкции по эксплуатации, рассказывали, почему производители считают такой проект экологически ответственным и как эти действия соотносятся с тем, что могло бы быть сделано.

В разработке упаковки, как и в других аспектах промышленной экологии, решения конструкторов помогают, если доступен

структурный метод сравнения альтернатив. Компания Merk & Co проставляет баллы по таким факторам, как использование рециклированного материала, возможность рециклирования упаковки, энергия, затраченная на производство упаковки, объем требуемого сырья, токсичность упаковочного материала и возможное количество энергии, которую можно получать, сжигая упаковку. Конкурирующие проекты упаковки затем ранжируются по степени оказываемого воздействия на окружающую среду, и если не выбирается проект с наивысшим рейтингом, необходимо дать особое объяснение. Гораздо более высоко структурированный, но более узкий подход — подход швейцарской фирмы Migros-Genossenschafts-Bund, чья программа компьютерного анализа позволяет сравнивать использование энергии и воздействия на воздух и воду различных проектов упаковки. Результатом каждой из этих программ становится прямой, понятный способ поощрения экологически ответственной упаковки.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Russell, P., and others. *Handbook for Environmentally Responsible Packaging in the Electronics Industry*, Herndon, VA: Institute of Packaging Professionals, 1992.

Stilwell, E.J., R.C. Canty, P.W. Kopf, and A.M. Montrone, *Packaging for the Environment: A Partnership for Progress*, New York: American Management Association, 1991.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 12.1 Оцените упаковку шести пищевых продуктов в продовольственном магазине, выбирая как можно более разнообразные. Обсудите хорошие и плохие стороны каждого подхода к упаковке в реальной и возможной степени. Если в упаковке конкурирующих продуктов приняты различные подходы, выделите хорошие и плохие аспекты каждого из них.
- 12.2 Обсудите варианты упаковки следующих продуктов потребления: моторного масла, грейпфрутового сока, зубной пасты, журналов, рубашек, противоотечных таблеток.
- 12.3 Посетите один или несколько компьютерных магазинов или магазинов «домашней техники» и сравните различные подходы к упаковке таких обычных продуктов, как гвозди, лампочки и отвертки. Рассмотрите потребность в определении марки, защите от воровства и других неэкологических факторов. Каковы хорошие и плохие аспекты упаковки каждого продукта? Можете ли вы придумать упаковку лучше, чем любая из тех, что вы видели?

## **Г Л А В А 13**

# **Экологические взаимодействия во время использования продукта**

### **13.1 ВВЕДЕНИЕ**

Проектирование с учетом окружающей среды включает гораздо больше, чем проектирование, при котором производство продуктов сопровождается минимальным воздействием на окружающую среду. Другой важный, иногда отвергаемый момент, — объем воздействия на окружающую среду продуктов во время их использования. В отличие от среды, окружающей добычу или переработку, которые находятся под прямым контролем корпораций, использование продукта после того, как он переходит к потребителю, ограничено главным образом только его конструкцией. Это обстоятельство налагает на конструктора особое обязательство: хорошо представлять себе аспекты конструкции, минимизирующие воздействие продукта на протяжении всей его полезной жизни.

### **13.2 ОБРАЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА**

Во время использования продукта образуется несколько типов твердых отходов. Например, продукты, которые сами по себе могут быть долговечными и рециклируемыми, могут тем не менее производить твердые отходы из расходных материалов. Обычные примеры включают компьютерные принтеры (картриджи для принтеров) и фотокамеры (пластиковые контейнеры от фотографической пленки). Экологическая выгода того, что твердые отходы от расходных материалов могут быть сокращены в результате инновационного проекта, очевидна. В любом случае расходные материалы должны содержать минимум токсичных материалов или вообще не содержать их.

Менее желателен, чем сокращение твердых отходов из расходных материалов, но тем не менее похвален проект расходных



### 13 Экологические взаимодействия во время использования продукта **235**

материалов, поощряющий их повторное использование или эффективное рециклирование. Существуют два требования к такой программе рециклирования. Одно — это проект, по которому допускается быстрое рециклирование, как только возвращается единица расходного материала. Второе — это проект и поддерживающая его инфраструктура, поощряющие пользователя вернуть эту единицу на рециклирование. Примером последнего может служить подход, использованный рядом корпораций для рециклирования картриджей лазерных принтеров. Прочие инструкции поощряют пользователей вернуть картриджи для регенерации и повторного использования. Дополнительным побудительным стимулом в некоторых случаях служит маленький подарок за каждый возвращенный картридж. Система доставки пакетов обеспечивает многое из необходимой инфраструктуры. Этот подход не только экологически похвален, но компании обнаружили, что повторное использование картриджей гораздо более выгодно, чем использование каждый раз нового.

### **13.3 ОБРАЗОВАНИЕ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА**

В результате использования некоторых продуктов образуются регулярные или случайные жидкие отходы. Примеры включают загрязненную и содержащую моющие вещества воду из стиральных машин, охлаждающие жидкости из крупных промышленных двигателей, смазку из двигателей внутреннего сгорания. Идеальны в этой связи те конструкции, которые вовсе не требуют от покупателя использования расходных жидкостей. Следующая по уровню привлекательности конструкция, в которой минимизируется количество жидкости и используются только жидкости, оказывающие умеренное воздействие на окружающую среду. Наконец, необходимо прилагать большие усилия по рециклированию жидкостей. Пример последнего — программа, начатая поставщиками растворителей и направленная на работу с независимыми автомобильными мастерскими, которая включает помещение растворителей в специальные контейнеры, вывозимые, когда они загрязняются, заполнение необходимых деклараций по отгрузке и очистке и повторное использование растворителей, как часть интегрированного системного подхода

### **236** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

к растворителям, очищающим металлические детали. Стоит отметить, что эта система появилась главным образом в результате организационной инициативы, и многие такие программы достаточно прибыльны. Это также пример замещения продукта предложением услуги, возможность, которую мы более подробно рассматриваем в гл. 21.

Последняя проблема связана с тем, что жидкие продукты до использования часто хранятся в подземных или надземных резервуарах. Устранение протечек из резервуаров для хранения или нарушение целостности самого резервуара могут привести к незапланированным хаотическим сбросам жидкостей в воду и почву. Для таких продуктов необходима такая конструкция контейнеров, которая позволила бы минимизировать ненамеренные потери объектов хранения. Например, там, где это возможно и безопасно, резервуары и трубы должны быть над землей, чтобы позволить легко обнаружить и устранить неисправности или течи.

## **13.4 ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА**

Если использование продукта включает такие процессы, как выпуск сжатого газа или сжигание ископаемого топлива, промышленный эколог должен исследовать возможности изменения конструкции для минимизации или ликвидации этих выбросов. Двигатель внутреннего сгорания автомобиля, возможно, служит наиболее распространенным примером такого продукта, и его кумулятивные выбросы очень значительны, но все, что во время использования испускает запах, по определению, вырабатывает газообразные отходы; например пары от ковровых клеев, полимерные стабилизаторы пластиков, испарившиеся жидкости сухих очистителей. При необходимости заменить летучие химические компоненты вполне доступно.

Пример исследования вариантов снижения воздействий используемых продуктов дает корпорация Volvo Car, которая исследовала выбросы альтернативных видов топлива своих автомобилей. Анализ включал полное исследование жизненного цикла автомобиля, хотя большая часть выбросов происходит во время работы техники, а не добычи, очистки и распределения. Результат заключается в том, что в эквиваленте  $\text{CO}_2$  двигателя

### 13 Экологические взаимодействия во время использования продукта **237**

на дизельном топливе и метане лучше, чем на метаноле и бензине (табл. 13.1).

ТАБЛИЦА 13.1 Эквивалент  $\text{CO}_2$  выбросов автомобиля Volvo 740 GL, использующего различные виды топлива, г/км.

Топливо	Добыча	Очистка	Распределение	Работа	Итого
Дизель	17	10	7	205	239
Бензин	18	15	8	225	266
Метанол	13	51	12	186	263
Метан	10	7	41	187	245

Источник данных: Volvo Car Corporation, *The Volvo Car Corporation's Fuel Database*, Environmental Report 26, Göteborg, Sweden, 1991.

## 13.5 ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТА

Некоторые продукты при работе потребляют энергию. Энергия может быть электрической, как в случае холодильников и фенов, или производиться при сжигании ископаемого топлива, как в случае газонокосилок и цепных пил. Недавняя реконструкция вызвала снижение потребления энергии при использовании многих продуктов, и законодательство в растущем числе стран расширяет эти усилия. Конструкции с низким энергопотреблением иногда могут включать новые подходы; в результате обеспечивается не только менее затратная работа, но также улучшенное позиционирование продукта (с точки зрения продаж), в особенности в областях мира, которые энергетически бедны.

Использование энергии также может быть функцией на пути, в котором продукт конструируется с учетом пополнения. Чтобы продолжить наш пример с автомобилями Volvo, в табл. 13.2 показано использование энергии в различных типах двигателей. Интересно сравнить эту таблицу с табл. 13.1, которая показывает газообразные выбросы тех же двигателей. Видно, что дизельные двигатели гораздо более энергоэффективны, чем другие виды, а также выбрасывают относительно небольшие количества  $\text{CO}_2$  (и  $\text{CO}$  и  $\text{VOC}$ ). С точки зрения охраны окружающей среды многое говорит за то, чтобы рекомендовать дизельный двигатель, который в недавние годы стал гораздо чище, чем ранее.

## 238 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ТАБЛИЦА 13.2 Энергия, потребляемая автомобилем Volvo 740 GL, использующим различные виды топлива, МДж/км

Топливо	Добыча	Очистка	Распределение	Работа	Итого
Дизель	0,15	0,14	0,08	2,52	2,89
Бензин	0,17	0,22	0,10	2,87	3,36
Метанол	0,12	0,85	0,15	2,42	3,54
Метан	0,12	0,12	0,29	2,87	3,40

Источник данных: Volvo Car Corporation, *The Volvo Car Corporation's Fuel Database*, Environmental Report 26, Göteborg, Sweden, 1991.

### 13.6 НАМЕРЕННО РАССЕИВАЮЩИЕСЯ ПРОДУКТЫ

Многие продукты спроектированы так, чтобы рассеиваться в процессе использования, т.е. в конце концов теряться в какой-либо форме в окружающей среде с малой надеждой или полным ее отсутствием на восстановление. Примеры включают покрытия поверхностей: краски или хромирование, смазки, пестициды, продукты личной гигиены и чистящие составы. Делаются попытки минимизировать как объем упаковки, так и объем продукта в некоторых из этих случаев, как в недавнем введении суперконцентрированных моющих средств (хотя это и не устраняет их способности рассеиваться). С другой стороны, некоторые жидкие продукты, которые рассеиваются при использовании, могут быть разработаны для разложения экологически приемлемым способом. На протяжении последних нескольких лет этот подход был успешно применен для ряда пестицидов и гербицидов. Недавно была продемонстрирована разработка биоразлагаемого синтетического моторного масла, разработанного исключительно для неэффективных двухцикловых двигателей, которые при работе выбрасывают в окружающую среду приблизительно 25% недожженной смеси бензина и масла.

Другой распространенный пример потенциально рассеивающегося продукта — удобрение для посевов, где любое излишне распыленное на полях количество рассеивается в местные и региональные почвы и поверхностные воды. Объем удобрения, используемого фермерами, традиционно различался (рис. 13.1). Для одного и того же урожая применение удобрений различалось до двух и более порядков, или, если взглянуть на данные по-другому, тот же уровень удобрения может привести к различным

### 13 Экологические взаимодействия во время использования продукта **239**

урожаем. Большая доля этих различий, естественно, обусловлена качеством различных земель и климатическими различиями, но эксперты считают, что фермеры в развитых странах используют больше удобрений, чем можно обосновать получаемыми урожаями, а фермеры в развивающемся мире используют их обычно слишком мало (часто из-за расходов). Использование излишнего удобрения имеет тройное отрицательное воздействие: приводит к чрезмерной добыче сырья, финансовым штрафам, выпадающим на долю фермеров, и может оказывать отрицательное воздействие на ближайшие источники воды.

Концепция преднамеренно рассеивающихся продуктов слаба, но не всегда доступны лучшие альтернативы. Например, многие системы привода требуют смазки. Если их можно запечатать так, что не потребуются замена смазки, способность смазки рассеиваться улучшится. Кадмий представляет пример разработки рассеивающегося продукта связанного с чистотой, поскольку оксид цинка используется как компонент автомобильных шин, а кадмий является загрязнителем при очистке цинка. Поскольку цинк не очень хорошо очищается во время переработки, рассеивающиеся выбросы оксида цинка от износа протектора шины также вызывают рассеивающиеся выбросы кадмия.

Примером усилий минимизировать воздействие на окружающую среду рассеивающихся продуктов служат исследования Proctor&Gamble в области одноразовых подгузников. Такие подгузники составляют около 2% всего потока твердых отходов в Соединенных Штатах. Альтернативный вариант, тканевые подгузники, однако, потребляют значительные количества энергии и воды при повторной стирке, так что экологически предпочтительный вариант зависит от местных издержек энергии, воды и захоронения твердых отходов (реальный анализ достаточно чувствителен к используемым предположениям). Биоразлагаемые подгузники — не решение проблемы, поскольку, как было показано, на современном полигоне отходов с хорошим покрытием очень низкий процент биоразложения. Подход Proctor & Gamble заключался в том, чтобы разработать подгузник, который был бы почти полностью компостируемым.

## 240 III Проектирование с учетом требований окружающей среды



Рис. 13.1

Использование удобрений и урожай зерна по странам мира, 1989 г.

### 13.7 НЕНАМЕРЕННО РАССЕИВАЮЩИЕСЯ ПРОДУКТЫ

Ненамеренно рассеивающиеся выбросы возникают, когда продукты, которые подвергаются воздействию окружающей среды, страдают от разрушительной деградации. Например, карбонат кальция, разрушающий бетон. Другой пример — кадмий, присутствующий как примесь в цинке, используемом для гальванизации стали. Когда цинк, защищая сталь, подвергается воздействию коррозии, как цинк, так и его кадмиевая примесь распространяются в окружающей среде. Непреднамеренно рассеивающиеся продукты часто трудно узнать, но каждый конструктор продукта должен задать вопрос: что может произойти с материалом моего продукта в процессе использования? Потеря или коррозия во время перевозки или хранения также приводят к рассеиванию, но такие потери могут быть минимизированы или

предотвращены с помощью хорошего планирования и тщательного предвидения.

### **13.8 КОНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Заключительный вопрос использования продукта связан с требованиями, предъявляемыми разработчиком к обслуживанию продукта. Здесь рассматриваются несколько основных принципов:

- должна быть возможность ремонта или замены деталей и узлов, желательно покупателем;
- должна быть возможна модернизация системы с заменой модульных деталей, но без покупки лишних деталей;
- отходы, произведенные в результате регламентного обслуживания или починки, не должны содержать опасных веществ, их объем должен быть минимизирован;
- производители должны удостовериться в том, что существует инфраструктура для надлежащего манипулирования отходами эксплуатации, включающими использованные модули.

Обслуживание произведенных продуктов может включать использование очистителей и смазки. По возможности продукты необходимо разрабатывать так, чтобы процедуры обслуживания, включающие рассеивающиеся материалы, проводились нечасто; хороший пример этого подхода интервалы, требующиеся между сменой автомобильного масла, которые значительно увеличились в последние годы. Там, где может ожидаться замена износившихся деталей или узлов, эти детали должны делаться такими, чтобы их было бы легко перемещать и заменять. По возможности разработанные системы должны отражать, когда необходимо, обслуживание, это лучше, чем полагаться на консервативные схемы обслуживания для обеспечения удовлетворительной работы. Если системе требуется обслуживание, включающее материалы со значительным воздействием на окружающую среду, ими должны заниматься только обученные техники, чтобы минимизировать потери и оптимизировать восстановление и рециклирование.

Разработка с учетом обслуживания часто включает более высокую степень обязательств перед покупателями, чем это было бы в противном случае. Эти обязательства означают для покупателей обеспечение свободной от забот функцией продукта, а не отказ производителя от ответственности за продукт. Модульный дизайн и возможность легко заменять дефектные или износившиеся модули стимулируют контракты по обслуживанию или другие кооперативные соглашения, как, например, обязательст-

## 242 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

во надлежащим образом обрабатывать жидкие или газообразные отходы, как часть процедуры обслуживания. Эти тесные взаимоотношения могут стимулировать не только обслуживание продукта, но также надлежащую переработку упаковки и рециклирование устаревших продуктов. Очевидно, что системный подход к промышленной экологии и взаимоотношениям с покупателями — это путь, которым должны идти умные корпорации.



Рис 13.2

Данные анализа инвентаризационной оценки женских блуз из полиэстера. (a) Распределение общей потребности энергии на миллион износов. (b) Распределение энергии, требуемой для производства. (c) Распределение энергии, требуемой для потребительского использования. (d) Распределение общего объема твердых отходов на миллион износов (American Fiber Manufacturers Association, *Resource and Environmental Profile Analysis of a Manufactured Apparel Product: Woman's Knit Polyester Blouse.*)



## **Потребление энергии и образование твердых отходов во время использования женских трикотажных блуз из полиэстера**

Хотя многие продукты не потребляют энергии и не образуют отходов при использовании, некоторые проявляют воздействие на окружающую среду сразу после производства и вплоть до их устранения. Обычный пример — одежда, которая претерпевает множество стирок на протяжении своего срока жизни, потребляя энергию при нагревании воды для стирки и воздуха во время сушки, а также требующая ресурсов для производства и удаления моющих средств. Оценка этих экологических взаимодействий во время использования женских трикотажных блуз из полиэстера была проведена Franklin Associates для American Fiber Manufacturers Association.

Рис. 13.2, а показывает общую потребность в энергии на миллион износов блуз (это оказалось удобной сравнительной единицей). Энергия, использованная во время производства (рис. 13.2, b), распределяется, как этого и можно было ожидать, причем производство камеди и производство материала требуют приблизительно равного количества энергии; другие виды деятельности гораздо менее важны. Энергия для производства составляет менее четверти требуемой для использования потребителем. Последняя изображена на рис. 13.2, с и, как видно, тратится почти целиком на стирку. Твердые отходы также возникают в основном в процессе использования потребителем: это частицы грязи, попавшие в муниципальные стоки с водой после стирки, и зола, образовавшаяся при получении энергии вне предприятия.

Какие изменения в моделях пользования могли бы улучшить экологическую ответственность проектирования блузы? Исследование показало, что использование цикла холодной стирки, исключаящее необходимость нагрева воды, сократило общее потребление энергии при стирке на 60%. Менее эффективная инициатива — снижение температуры воды, но все же некоторый ее нагрев; снижение температуры воды на 10° сократило использование энергии на 14%. Сушка на веревке была также очень выгодной, сократив общее потребление энергии на 31%.

Что эти результаты должны сказать разработчику продукта? Очевидно, разработчик должен попытаться проектировать блузы, которые можно эффективно стирать в холодной воде, — это, возможно, самое простое изменение потребительского поведения, которое может принести пользу окружающей среде. Второе потенциальное изменение — модифицировать продукт так, чтобы его можно было быстро высушить на веревке или в машине, сохранив его привлекательный вид. Если используется стирка в теплой воде, естественная сушка, возможно, менее эффективна, но все-таки полезно указывать на маркировке продукта более низкую температуру воды.

## 244 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Saf-T-Clean Corporation, Chicago, IL, pamphlets, available from Ronald H. Mulholland, Corporate Accounts Manager (telephone: 312-697-8460 or 800-323-5740).

Stahel, W.R., The utilization focused service economy—Resource efficiency and product life extension in utilization, in *The Greening of Industrial Ecosystems*, B.R. Allenby and D.J. Richards, eds., Washington, DC: National Academy Press, 1994.

Stigliani, W.M., and S. Anderberg, Industrial metabolism at the regional level, in *Industrial Metabolism—Restructuring for Sustainable Development*, R.U. Ayres and U.E. Simonis, eds., United Nations University Press, 1993.

Volvo Car Corporation, *The Volvo Car Corporation's Fuel Database*, Environmental Report 26. Göteborg, Sweden, 1991.

### УПРАЖНЕНИЯ

- 13.1 В течение недели проанализируйте выбросы в воздух, воду и почву, напрямую связанные с вашей деятельностью. Могли ли бы изменения в конструкции продуктов, которые вызвали эти выбросы, минимизировать их? Как?
- 13.2 Как пользователь многих продуктов, оказывающих воздействие на окружающую среду, вы служите ценным источником данных. Основываясь на данных, которые вы и ваши сокурсники собрали в предыдущей задаче, определите, какие продукты вызвали наибольшие выбросы за неделю мониторинга. Какие изменения в коллективном потреблении или использовании сократили бы эти выбросы?
- 13.3 Исследуйте воздействие на окружающую среду какой-либо фотокопировальной машины. Можете ли вы предложить изменения в конструкции для минимизации этих воздействий?
- 13.4 Исследуйте воздействие на окружающую среду какой-либо стиральной машины. Можете ли вы предложить изменения в конструкции для минимизации этих воздействий?
- 13.5 Исследуйте воздействия на окружающую среду пассажирского или товарного поезда, для которого вы сможете получить данные. Включите в рассмотрение все рассеивающиеся выбросы. Можете ли вы предложить изменения в конструкции для минимизации этих воздействий?

## ГЛАВА 14

# Конструирование с учетом окончания жизненного цикла

### 14.1 ВВЕДЕНИЕ

Концепция промышленной экологии — это концепция, в которой продукты, достигшие конца своей полезной жизни, вновь поступают в промышленный поток и становятся частью новых продуктов. Как говорит Кумар Патал (Kumar Patal), бывший сотрудник AT&T Bell Laboratories, «если надлежащим образом реализуется промышленная экология, то целью становится «от колыбели к реинкарнации», а не «от колыбели к могиле»<sup>1</sup>. Эффективность циклизации (повторного вовлечения ресурсов в хозяйственный оборот) сильно зависит от проекта продукта или процессов; поэтому *разработка с учетом возможности рециклирования (design for recycling, DfR)* — это один из наиболее важных аспектов промышленной экологии.

Последствия того, что на более ранних стадиях промышленного проектирования DfR не принимались во внимание, наглядно иллюстрирует исследовательский проект Carnegie Mellon University по утилизации персональных компьютеров. По оценкам, к 2005 г. ежегодно будут подлежать захоронению около 55 млн компьютеров, причем ни в одном из них не содержатся легко извлекаемые материалы. Требуемый объем мощности полигонов ежегодно составит почти 3 млн кубометров и потребует ежегодных затрат около 150 млн долл. Это очень много, однако данные относятся только к малой доле того объема, который может в конечном счете возникнуть, поскольку исследования, проведенные Fraunhofer Institute, показывают, что три четверти всех вышедших из употребления компьютеров где-то хранятся. Даже если компьютер не используется, оказывается психологи-

---

<sup>1</sup> Интервал «от колыбели к могиле» используется как метафора интервала от начала до конца жизненного цикла продукта или услуги; «реинкарнация» — метафора рециклирования — *прим. перев.*

## 246 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

чески сложным выбросить что-то такое дорогостоящее, как персональный компьютер.

Если рассмотреть также и стиральные машины, холодильники, автомобильные пластики и все другие используемые в настоящее время и не спроектированные с учетом рециклирования продукты, то запасы невозстановливаемых материалов в них оказываются огромными. Однако извлечение полезных компонентов из большей части этих материалов в настоящий момент более дорого и сложно, чем необходимо, поскольку большинство продуктов не были разработаны с учетом возможности ремонта и рециклирования. Поэтому конструирование с учетом возможности рециклирования может не только быть рекомендовано, но и оказаться чрезвычайно важным для способности общества продолжать использовать материалы теми способами, к которым мы привыкли.

В гл. 11 мы высказали мнение о том, что чем ниже спускаться к началу по цепи материальных потоков, тем больше энергии потребуется на восстановление единицы материала. Проектировщик должен не просто обеспечить возможность рециклирования отдельных материалов, но и постараться потерять как можно меньше этого материала, таким образом избегая «истощения» овеществленной в нем полезности. Поставив такую цель, тем не менее, нужно учитывать, что часто трудно избежать некоторой потери рециклируемого материала. В большинстве случаев повторно использовать материалы, даже с ухудшением качества, гораздо лучше, чем выбрасывать их. Следовательно, повторно использовать пенопластовые подносы из кафе в качестве изоляционных панелей или пластиковые бутылки из-под газированной воды как ковровое волокно можно рекомендовать даже тогда, когда исследователи пытаются разработать технологии повторного использования, которые сохраняют больше овеществленной энергии первоначального материала.

Альтернативные стратегии конца жизненного цикла показывает «кометообразная диаграмма» на рис. 14.1. Пользователи находятся в точке перигелия орбитальной траектории продукта. При приближении к перигелию (части орбиты вверху диаграммы) материалы формируются, перерабатываются в детали, затем в продукты и — продаются. При отдалении от перигелия про-

дукты и их компоненты либо используются повторно, либо выбрасываются.

Замыкающая петля, очевидно, предпочтительна с экологической точки зрения, и чем петля короче, тем лучше, поскольку короткие петли сохраняют материалы и энергию, овегествленные в продуктах во время их производства. Большинство петель требуют переработки, обеспечивающей различные услуги для перемещения ресурсов с выходящего сегмента орбиты к входящему.

Первоначальный проектировщик продукта определяет варианты петель, доступных пользователю и потенциальному переработчику вторичного сырья. Предпочитаемый ими подход заключается в практике превентивного и «терапевтического» обслуживания в течение как можно более долгого времени, включая модернизацию для использования выигранных в эффективности и работе, возникающих в результате технологической инновации. Раньше или позже, однако, непрактичность последующего обслуживания или просто выход продукта из строя вызовет необходимость коренной реконструкции или его замены. Идеальная конструкция позволяет обновлять и улучшать продукт, изменяя малое число узлов и рециклируя те, которые заменяются. Следующая по качеству конструкция — та, которая требует замены продукта, но позволяет многие узлы или большинство из них восстанавливать и рециклировать в новые продукты. Если маловероятно, что узлы сами по себе будут использованы повторно, необходимо попытаться разработать детали узлов с учетом восстановления и использования в нескольких продуктовых циклах. Обычно наименее желательна из всех альтернатив полная разборка, за которой следует восстановление отдельных материалов в продукте (или, возможно, некоторое количество овегествленной энергии, если продукт лучше сжигать) и поступление материалов или энергии обратно в промышленный поток. Выбрасывание продукта без возможности какого-либо из этих вариантов рециклирования обычно неприемлемо и не может считаться необходимой альтернативой с точки зрения промышленной экологии.

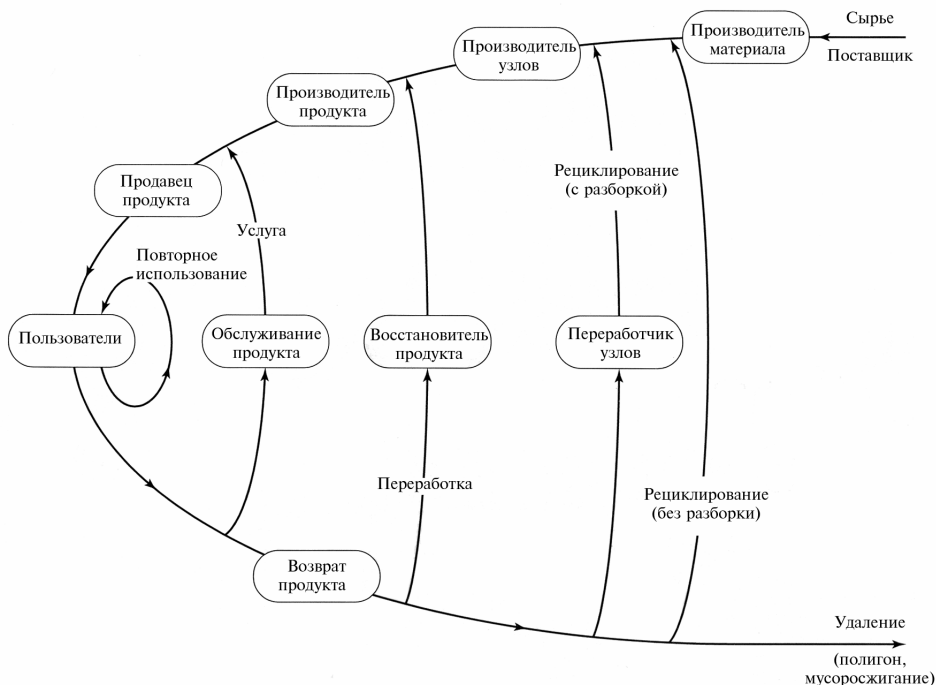


Рис. 14.1

«Кометообразная диаграмма», показывающая стратегии повторного использования, восстановления и рециклирования на разных стадиях жизненного цикла продукта (Адаптировано из С.М. Rose, *Design for Environment: A Method for Formulating Product End-of-Life Strategies*, Ph. D. dissertation, Stanford University, 2000).

## Последовательность рециклирования автомобиля

Многие аспекты проектирования с учетом возможности рециклирования (DfR) иллюстрируются рециклированием автомобилей и их деталей. Это рециклирование происходит в несколько этапов, причем на каждом этапе имеются свои собственные переработчики (рис. 14.2). Процесс начинается с транспортировки автомобиля, который считается не пригодным для работы, в пункт разборки. Разборщик удаляет компоненты, которые можно продать: панели корпуса, свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, колеса и шины, радиатор, генератор и т. д.

Затем корпус автомобиля продается оператору по размельчению. Операция по размельчению осуществляется крупной машиной, которая рубит корпус на маленькие кусочки размером около 10 см и весом около килограмма. Эти кусочки проходят ряд операций, на выходе которых образуются три потока: «железная» фракция (железо, углеродная сталь, нержавеющие стали), фракция цветных металлов (алюминий, цинк, медь) и остаток, называемый остатком автоматического дробления (*automotive shredder residue ASR*), — это главным образом загрязненные металлами и жидкостями полимерные материалы. Каждый из трех потоков выпуска поступает следующему переработчику в последовательности рециклирования: железная фракция — на сталелитейный завод; фракция цветных металлов — на сепаратор цветных металлов, где некоторые металлы сепарируются для перепродажи; бесполезный ASR — к оператору полигона отходов. В некоторых странах и в некоторых случаях ASR подвергается пиролизу для получения энергии.

Система рециклирования автомобилей поразительно эффективна при восстановлении транспортных средств в момент окончания их жизненного цикла и повторного использования по крайней мере некоторых их частей и материалов. В более развитых странах около 95% всех автомобилей в конечном счете рециклируются для сравнения: (63% алюминиевых банок, 30% бумажных продуктов, 20% стекла и менее 10% пластика). Как работает система восстановления автомобилей и каковы ее хорошие и плохие стороны?

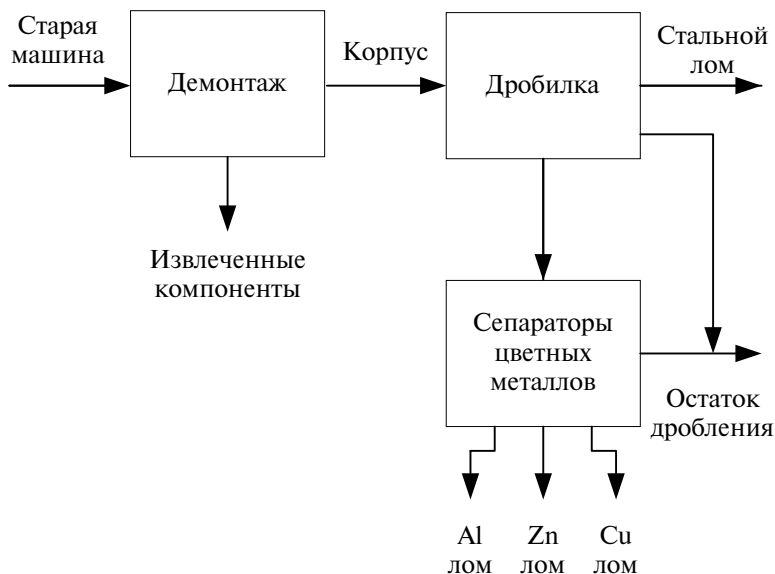


Рис. 14.2

Последовательность этапов рециклирования автомобилей

## 250 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Участник утилизации автомобилей с наиболее сложной организационной деятельностью — это демонтировщик, чья деятельность показана в расширенном виде на рис. 14.3. Сложность связана с тем, что части, которые демонтировщик извлекает из старой машины, ценны для ряда различных отраслей и производств, и/или с тем, что они представляют трудность для последующих стадий рециклирования автомобилей.

Один из первых извлекаемых агрегатов — свинцово-кислотная аккумуляторная батарея. Иногда сам аккумулятор может быть возвращен на рынок бывших в употреблении деталей, но обычно он как таковой представляет небольшую ценность и продается переработчику свинца, который извлекает свинец и перепродает его производителю аккумуляторных батарей. Похожие процессы происходят с каталитическим конвертером и с электронными компонентами: каждый поступает к специалистам по извлечению ценных металлов или полезных микросхем либо деталей, а извлеченное сырье передается к переработчикам или дилерам: колеса, моторы стеклоподъемников и сиденья, возможно, радиатор. Другие могут повторно использоваться после ремонта: генераторы, кондиционеры, даже целиком двигатели. Это особенно важно тогда, когда двигатели и детали больше не выпускаются, и восстановленные и отремонтированные детали — это единственный способ поддержания работоспособности старых автомобилей. Широкая доступность отремонтированных деталей и модульных конструкций автомобилей — основные факторы продолжения жизни автомобилей.

Более специальные и более сложные узлы также вторично перерабатываются. Развитие в недавнем прошлом автомобильной электроники привело также и к ограниченному рециклированию электронных деталей, иногда с производством таких же деталей, иногда с извлечением содержащихся в них ценных металлов. Металлы платиновой группы в каталитических конвертерах достаточно ценны, и на эти детали приходится около 30—35% всего использования этих материалов. Поэтому их начали собирать и рециклировать, как только конвертеры получили распространение.

Таким образом, в зависимости от глубины исследования потоков сепарированных металлов и перепроданных деталей рециклирование автомобилей — эта деятельность, связанная с дюжиной-двумя независимых участников, каждый со своей собственной ролью, различными технологиями и различными комбинациями автоматических и неавтоматических производств. Эта система возникла спонтанно в результате действия экономических стимулов, а не под воздействием регулирования.

---



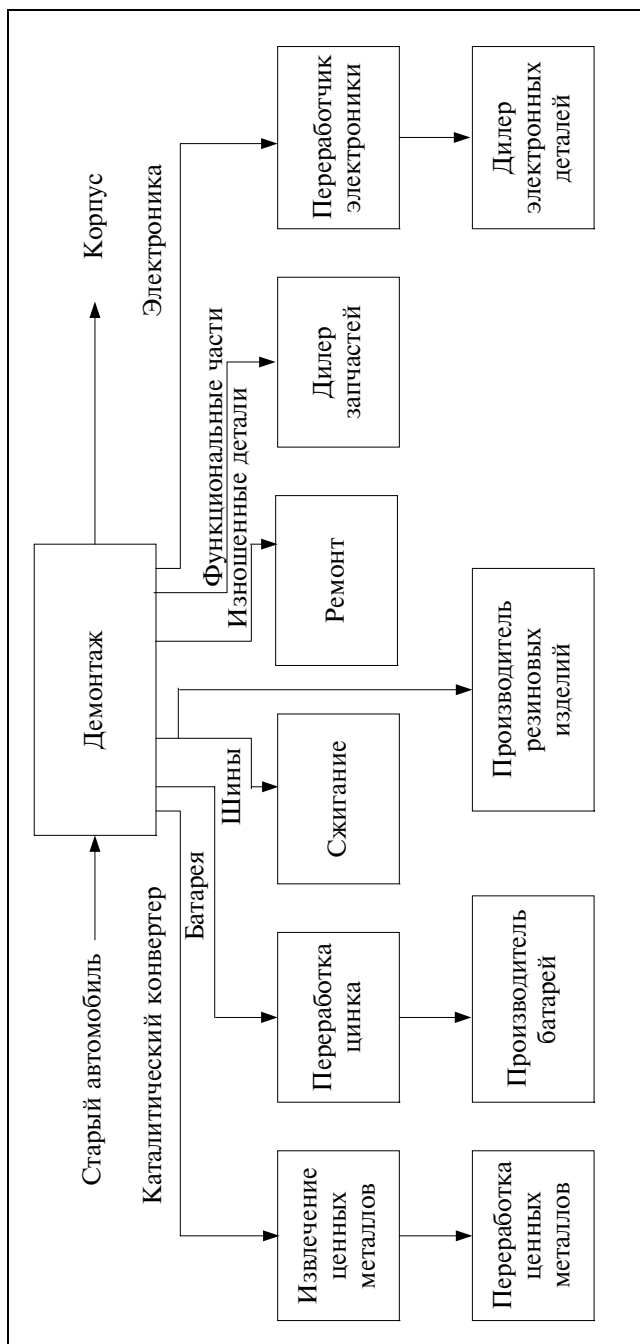


Рис. 14.3

Потоки компонентов после демонтажа автомобилей на восстановление деталей, переработку материалов и операции по восстановлению энергии

## 252 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### 14.2 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОКОНЧАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Непосредственная практическая причина того, что во всех отраслях используется проектирование с учетом возможности рециклирования, заключается в тенденции правительств и других потребителей требовать или отдавать предпочтение продуктам, учитывающим философию DfR. Например, в 1991 г. было опубликовано Распоряжение правительства США 12780. Оно потребовало, чтобы все правительственные агентства (в совокупности агентства — это крупнейший покупатель страны) начали покупать продукты, изготовленные из рециклированных материалов, и поощрять поставщиков к участию в программах утилизации отходов. В том же году в штате Нью-Йорк был объявлен конкурс на поставку компьютеров для офисов штата, в условиях которого было указано, что одним из факторов оценки при выборе поставщика будет рециклируемость. Статут немецкого экологического знака «Blue Angel» включает такие требования в процедуры оценки. Такие действия обеспечивают наглядное и легко передаваемое логическое обоснование DfR.

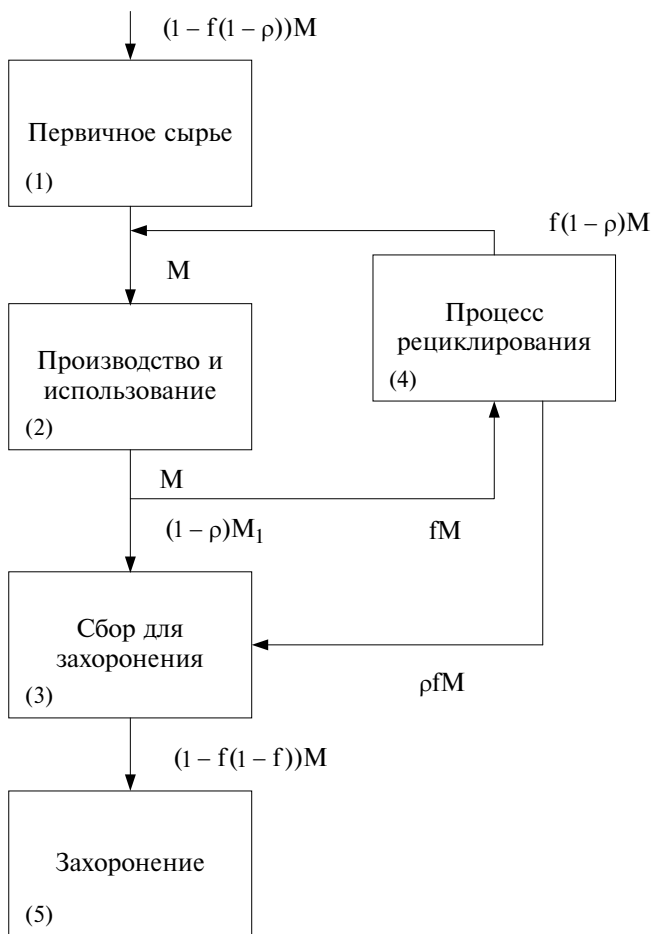
Возможно, наиболее важный вопрос в DfR — это минимизация количества различных материалов и числа отдельных деталей, используемых в конструкции. (Эта стратегия проектирования известна как стратегия простоты конструкции (*design for simplicity*)). Чтобы понять важность этой рекомендации, представьте, что вы ответственны за еженедельное рециклирование сотен телевизоров, фотокопировальных машин или холодильников. Если вам необходимо разместить, отсортировать, очистить и обеспечить эффективное рециклирование двух-трех металлов и двух-трех видов пластмасс, вы гораздо вероятнее добьетесь успеха, чем если бы вы должны были иметь дело с пятью металлами, четырьмя сплавами, двенадцатью пластмассами и такими разными материалами, как стекло и ткань. Функциональные и эстетические требования к проекту иногда слишком сильно затрудняют ограничение разнообразия материалов или сложности, но минимизация должна быть основным центром внимания для каждого конструктора.

Вторая общая цель — избежать использования опасных материалов. Эта тема обсуждалась ранее по отношению к добыче и производству материалов и их распространению во время производственных процессов. Цель равно важна и с точки зрения рециклирования продукта, где присутствие таких материалов препятствует детальному демонтажу, повторному использованию или, если это необходимо, безопасному сжиганию и восстановлению энергии. Там, где должны использоваться опасные материалы, они должны быть легко определимы, и компоненты, содержащие их, — легко делимы.

Другая основная рекомендация проектировщику — избегать объединения неоднородных материалов такими способами, которые осложняют сепарацию. Простой пример продукта, разработанного без учета возможности рециклирования, — стеклянная бутылка, крышка которой отвинчивается, оставляя металлическое кольцо; сознательному домохозяину требуются маленькие кусачки для надлежащей сортировки материала, если местное предприятие по рециклированию не способно быстро и дешево сделать это. Более сложные вариации этой темы — металлические покрытия пластиковых пленок, пластик, наплавленный на металл или на другой пластик, или приборная панель автомобиля, которая представляет собой сложную комбинацию металла, дерева и пластика. Каждый раз, когда конструктор использует вместе различные материалы, он должен представить, могут ли они быть разделены, и если да, то как, что очень важно, поскольку трудовые затраты обычно сильно препятствуют рециклированию.

При планировании конца жизненного цикла продукта следует рассматривать два типа рециклирования: по *замкнутой петле* (*closed-loop*) и по *открытой петле* (*open-loop*). Как видно из рис. 14.4, рециклирование по замкнутой петле включает повторное использование материалов для изготовления такого же продукта (иногда это называется *горизонтальным рециклированием*), в то время как рециклирование по открытой петле повторно использует материалы для производства различных продуктов (иногда называется *каскадным рециклированием*). (Характерными примерами могут быть алюминиевые банки из алюминиевых банок в первом случае и крафтовые мешки из офисной бумаги — во

**254** III Проектирование с учетом требований окружающей среды



втором). Режим рециклирования будет зависеть от используемых материалов и продуктов, но обычно следует использовать схему замкнутой петли.

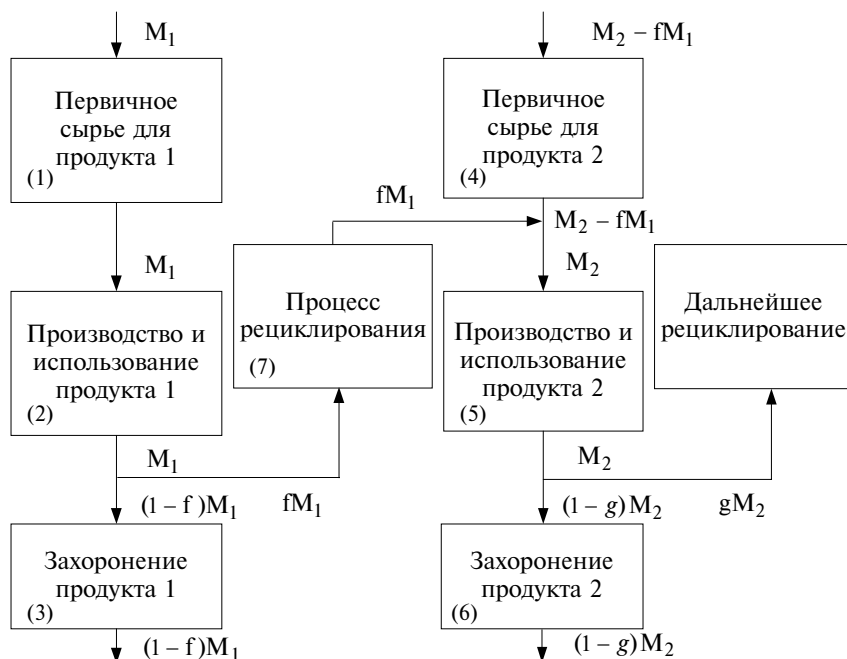


Рис. 14.4

Рециклирование материалов по замкнутой (слева) и открытой (справа) петле. На диаграммах  $M$  обозначает поток массы,  $f$  и  $g$  — доли потоков, поступающие в процесс рециклирования, и  $\rho$  — доля этих потоков, отклоняемая как неподходящая для рециклирования (Адаптировано из B.W. Vigon, D.A. Tolle, B.W. Cornaby, H.C. Latham, C.L. Harrison, T.L. Boguski, R.G. Hunt and J.D. Sellers, *Life-cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*, EPA/600/R-92/036, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1992)

### 14.3 ПЕРЕРАБОТКА

В большинстве продуктов, спроектированных для длительного пользования, не приходит в негодность все сразу: может сломаться механическая часть, может вытечь или загрязниться нужная жидкость или может прийти в негодность важная деталь. Как мы отметили в рис. 14.1, рециклирование должно происхо-

## **256** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

доть так высоко в ресурсной цепи, как это возможно. Эффективный путь достижения этой цели — переработка.

Переработка включает в себя повторное использование уже не работающих продуктов путем сохранения деталей, которые еще могут служить, починки деталей, которые можно использовать, и введением замещающих деталей (идентичных либо модифицированных). Такой процесс часто экономически эффективен и почти всегда экологически ответствен. Он требует тесной связи между покупателем и поставщиком, часто на основе лизингового контракта; в любом случае эти связи составляют конкурентное преимущество. Переработка требует разумного проектирования, поскольку процесс часто становится возможным или невозможным в той степени, в которой продукт может быть легко разобран и быстро модифицирован.

Общая концепция проектирования с учетом возможности рециклирования включает модульное проектирование. Если конструктор предполагает, что определенная часть проекта, вероятно, будет развиваться или потребуются починка или замена ряда деталей, в то время как другие части продукта, возможно, этого не потребуют, ту часть, которая, вероятно, изменится, можно сконструировать из модулей, так что она может быть эффективно заменена и рециклирована. Использование съемных печатных плат в современных телевизорах служит хорошим примером этой философии. Другой такой пример — персональный обработчик изображения фирмы NCR (рис. 14.5), представляющий высокую степень модульности.

## **14.4 РЕЦИКЛИРОВАНИЕ**

### **14.4.1 МЕТАЛЛЫ**

Чистые металлы могут быть хорошо рециклированы, и многие из них исторически рециклировались в очень высокой степени.

Рециклирование включает повторное прохождение металлического лома через процесс рафинирования, часто после этапа очистки, включающего удаление оксидов и других продуктов коррозии.

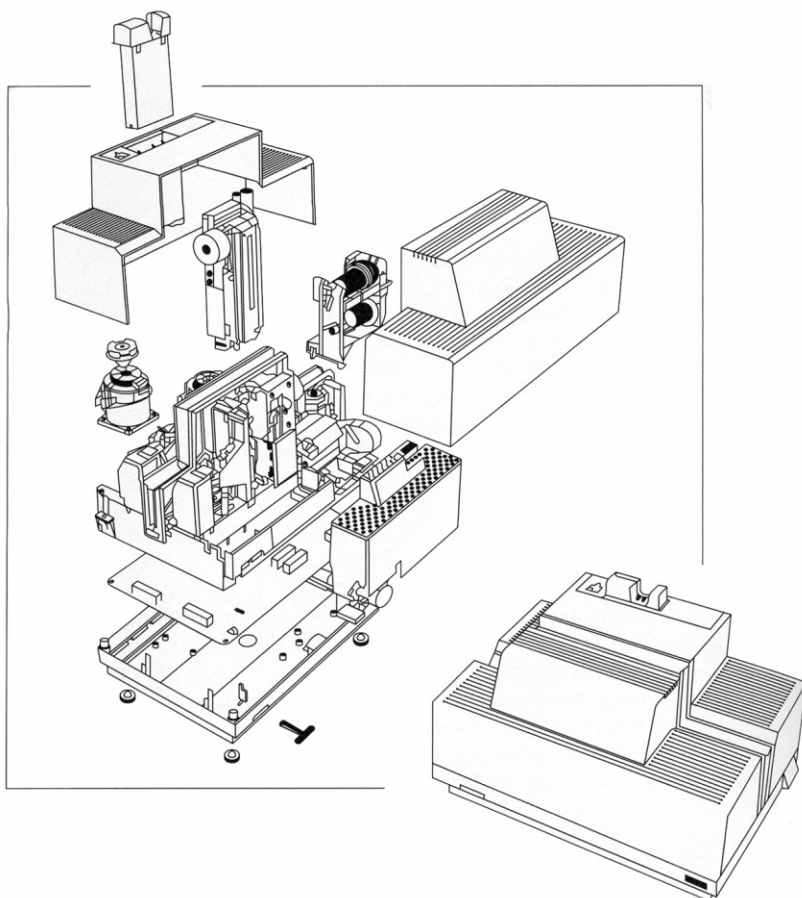


Рис. 14.5

Персональный обработчик изображения NCR 7731. Этот продукт создания изображения имеет модульную конструкцию, так что он может быть изменен или модифицирован в соответствии с меняющимися потребностями покупателей без выбрасывания или замены

Рециклирование металлов осложняется присутствием в ломе несовместимых металлов. Поэтому по возможности, лучше использовать единственный металл или группу металлов, чтобы повысить возможности рециклирования. Этот принцип особенно

## 258 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

важен, если используется малое количество металла с большим количеством другого металла, как, например, кадмиевом покрытии стали. Во время вторичной переработки металл, содержащийся в покрытии, обычно сложно или экономически не эффективно восстанавливать, и он обычно теряется в процессе.

Второй пример — рециклирование стального автомобильного лома, смешанного с медной проволокой. Медные вкрапления в стали значительно ухудшают ее механические свойства; предпочитается алюминиевая проволока, если сталь или электропровод должны быть рециклированы совместно.

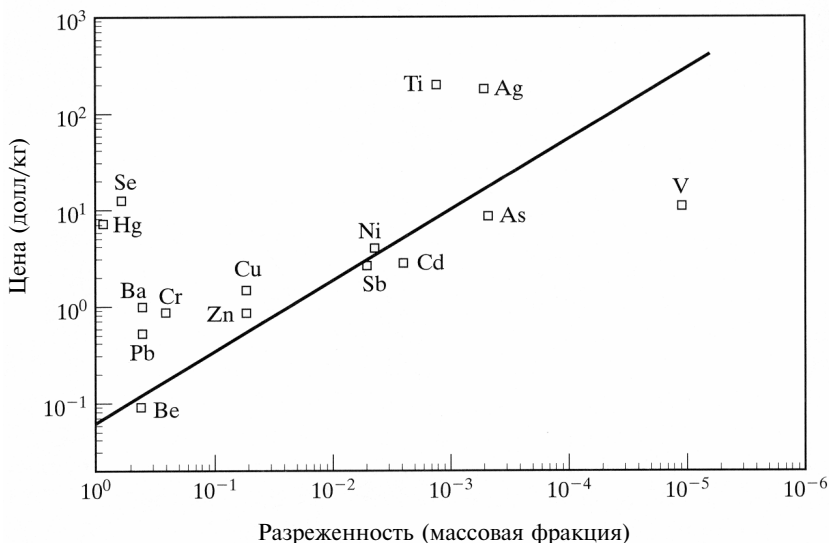


Рис. 14.6

Зависимость между разреженностью материала и ценой. Прямая линия показывает связь между ценой первичного материала и их разреженностью в материнской породе, откуда они извлекаются. Отдельные точки представляют промышленные отходы, проходящие вторичную переработку (D.T. Allen and N. Behmanesh, Preprint: Wastes as raw materials, in *The Greening of Industrial Ecosystem*, B.R. Allenby and D.J. Richards, eds., Washington, DC: National Academy Press, 1994.)

Нежелательность смешивания потоков материалов ясно иллюстрируется рис. 14.6, который показывает, что цена продажи первичного сырья почти логарифмически зависит от его кон-



центрации в породе, из которой оно добывается. На рисунке также показаны некоторые металлы, в настоящее время извлекаемые из потоков отходов, а не из первичных ресурсов. В большинстве случаев потоки отходов богаче (т.е. менее разрежены), чем материнская порода первичных материалов, так что можно ожидать, что эффективные операции по рециклированию будут финансово вознаграждены.

(Ирония заключается в том, что именно экологическое регулирование во многих случаях делает такое желательное рециклирование экономически не эффективным). В случае ртути и кадмия рециклирование сейчас проводят из соображений их токсичности, а не экономической возможности; эта экономическая возможность может быть улучшена снижением разреженности этих материалов в потоках отходов.

#### 14.4.2 ПЛАСТИКИ

Уделяя достаточно внимания проектированию и выбору материалов, можно рециклировать многие пластики, находящиеся в промышленном использовании. Наиболее простой подход состоит в очистке, плавке и гранулировании. Следующая по уровню сложности — деполимеризация, в различной степени разлагающая полимеры. Наиболее виртуозны процессы, которые разлагают полимеры до исходных составляющих.

Тип пластика играет большую роль в потенциальной рециклируемости. Термопласты могут быть относительно эффективно размолоты, расплавлены и повторно расформованы. Среди термопластов, для которых сейчас существуют мощности по рециклированию, находятся полиэтилен терефталат (PET), поливинилхлорид (PVC), пенопласт (PS) и полиолефины (включая высокоплотный полиэтилен (HDPE), низкоплотный полиэтилен (LDPE) и полипропилен (PP)). Полезность рециклирования этих материалов зависит от их чистоты, поэтому использование красок, негорючих покрытий и других добавок должно быть минимизировано или его вообще следует избегать, если возможно. Наличие пластика многих цветов в производственной линии также сокращает возможности рециклирования. Еще одна проблема заключается в том, что конструкция из пластика при использовании должна быть минимально покрыта смаз-

## 260 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

кой, поскольку это также ограничивает эффективность рециклирования.

Рециклирование термоустойчивых пластмасс гораздо более трудно; к этой группе относятся фенольные смолы, полиэферы, эпоксиды и силиконы. В процессе образования термоустойчивых пластмасс возникают поперечные химические связи; рециклирование состоит в сокращении числа этих связей до образования веществ с более низкими молекулярными весами в процессах пиролиза и гидролиза. Однако эти процессы эндотермические и в них поглощается большая часть включенной в термоустойчивые пластмассы полезности. Сжигание для получения энергии более предпочтительно, но представляет полное разложение материала, и обычно к этому процессу рециклирования прибегают в последнюю очередь.

При планировании с учетом рециклирования продукта, содержащего пластик, необходимо рассматривать термическую устойчивость основной камеди и других компонентов, поскольку переработка будет включать нагревание материала. Обычно такие добавки, как клей, краски и покрытия, которые не удаляются перед переработкой, разрушаются в формовочных и пресовочных машинах. В результате происходит дегазация, которая препятствует или делает невозможным цикл переработки. Другая потенциальная сложность возникает при рециклировании смешанных полимеров. Часто в результате ухудшаются механические свойства, но необходима оценка каждого отдельного случая; допустим, например, наличие небольшой доли полиэтилена на основе поликарбоната, поскольку малая доля примесей не ставит под угрозу рециклирование поликарбоната.

Вне зависимости от того, насколько эффективно может быть рециклирован пластик, разнообразие используемых пластиков часто затрудняет отличие одного от другого, в особенности если рециклирование проводится лет через десять после производства или еще позже. Для решения этой проблемы были разработаны международные стандарты маркировки пластиковых деталей. Хотя было распространено несколько версий таких стандартов, наиболее широко применяется стандарт Международной организации по стандартизации (International Organization for Standardization), (ISO). Для физических конструкторов существует твердое правило: никакая пластиковая часть значительного раз-

мера не должна использоваться без нанесенной на нее маркировки ISO.

### **14.4.3 ПРОДУКТЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

Из всех видов сырья, которые используются человечеством, для рециклирования лучше всего подходят продукты деревообработки: бумага, картон, древесина и т. д. Само сырье может регенироваться за несколько десятилетий, а переработанное часто очень долго и успешно используется, как бревна для строительства, так и в рамах. После использования значительная доля древесины рециклируется. Наиболее хорошо разработанная система рециклирования — многоэтапный процесс рециклирования бумаги. На каждой стадии рециклирования волокна бумаги укорачиваются и возможности допустимого использования сокращаются, при том что нормальный цикл охватывает стадии производства белой бумаги для документов, окрашенной бумаги для документов, газетной бумаги, бумажных пакетов, туалетной бумаги.

Значительные ограничения по рециклированию продуктов деревообработки возникают, когда материалы деревообработки сочетаются с другими материалами, например при добавлении органического клея к древесным стружкам или нанесении пластикового покрытия на деревянные стаканы для горячих напитков, или при использовании металлосодержащих антисептиков древесины. Большинство систем рециклирования находят эти материалы сложными для обращения; в результате эти подмешиваемые продукты деревообработки часто захораниваются, а не возвращаются в поток материалов. Тем не менее, если покрытие или антисептики создают материал, который можно использовать гораздо дольше, общий экологический результат может быть положительный, а не отрицательный.

### **14.5 СВЯЗЫВАНИЕ ЧАСТЕЙ**

Способ, которым части связываются в одно целое, оказывает большое влияние на то, будет ли продукт рециклирован после его полезной жизни, вне зависимости от того, были ли его материалы выбраны верно. Плохой проект скрепления деталей может быть чрезвычайно важным для переработчика вторичных ресурсов: часто используется не только широкое разнообразие

## 262 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

типов, но поражает и их количество: 275 для холодильника, 1000 для грузоподъемника, 3500 для автомобиля, 1 500 000 для большого самолета. Задача конструктора — создать продукт, который крепок и надежен в использовании, но легко разбирается, когда выходит из употребления. Обычно, если продукт разрабатывается с учетом легкости производства (минимум общность крепежа, модульные компоненты, небольшое их число и т. д.), большая часть проектирования с учетом возможности рециклирования в нем уже реализована. Учитывая этот общий совет, проектировщики должны познакомиться с экологическими преимуществами и недостатками различных методов крепления.

Болты — возможно, самый простой из обычных способов соединить детали. Их следует использовать как можно меньше, следует минимизировать число их размеров и типов. (Если продукт собирается из модулей, производимых различными поставщиками, необходимо уделить особое внимание однородности крепежа). Особенно сложный подход к конструированию с точки зрения рециклирования заключается в использовании металлических вставок с резьбой, включенных в пластик; для их удаления обычно требуется нагрев, тем более что они часто не могут быть отделены с помощью магнитов, обычно используемых на перерабатывающих заводах.

Вместо более традиционных видов крепежа существует множество быстросъемных соединяющих приспособлений. Зажимы и подобные им крепления обычно делаются из металла, но все чаще используют соединение поверхностей по принципу «крюк-и-петля», в особенности больших панелей, таких, как внутренняя обивка потолка в салоне автомобиля. Существуют соединения «крюк-и-петля» нормальной и промышленной прочности, безопасные в использовании и легко отделяющиеся после использования. Более надежный способ, требующий очень точной механической обработки, — использование частей, которые прочно скрепляются вместе, возможно, с ограничительными вставками, вообще безо всякого крепежа.

Лучше, чтобы маркировка и корпоративные логотипы были вытеснены, а не приклеены на продукты. Если они изготовлены из иного материала, приклеены или вложены в продукт, они должны быть быстро открепляемыми.

Следует избегать крепежных деталей, которые делают разборку продукта сложной и долгой. В эту категорию попадают заклепки, гайки и болты и химические связи в однородных или (что хуже) неоднородных пластиках. Также на заводе по рециклированию трудно иметь дело со сварными швами между металлами.

## 14.6 ПЛАНИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЦИКЛИРОВАНИЯ

### 14.6.1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕМОНТАЖА

Проектирование товаров длительного пользования с учетом возможности демонтажа может звучать как что-то невообразимое, но это уже происходит. Например, чайник для заварки, выпущенный на рынок фирмой Polymer Solutions, Inc., совместным предприятием GE и Fitch Richardson Smith, которое делает формованные детали в Соединенных Штатах и использует британские нагревательные элементы и переключатели (рис. 14.7). Из-за того что части скрепляются вместе, инженеры обнаружили, что допуски на предотвращение течи были гораздо более жесткими, чем в более старых методах производства. В краткосрочном периоде издержки на улучшение оборудования были отрицательным фактором, но в более долгом периоде они обеспечили возможность производить продукты с гораздо более желательными свойствами.

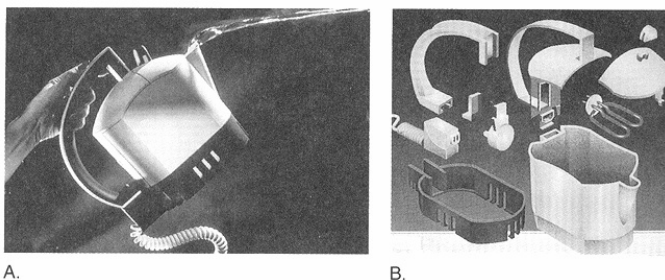


Рис. 14.7

Чайник, спроектированный с учетом возможности демонтажа фирмой Polymer Solutions, Inc. для Great British Kettles Ltd

## 264 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Существуют два метода демонтажа. Один — обратная сборка (*reverse assembly*), при которой удаляются винты, открепляются прикрепленные детали и т.д. Второй — с применением «грубой силы», в котором детали ломаются или разрезаются на части. Если детали разработаны под быстрое и эффективное разделение, может подойти любой вариант. В противном случае успешный выбор проекта часто может быть кошмаром во время демонтажа: специальные инструменты, которые были нужны для сборки специализированных деталей, могут быть недоступны при демонтаже, а вставки или покрытия могут загрязнять другие материалы после разборки с применением «грубой силы», которые в противном случае могли бы быть использованы. Как и во многих других аспектах DfE (проектирования с учетом требований окружающей среды), простое и распространенное обычно следует предпочитать экзотическому.

В проектировании с учетом возможности демонтажа применяются удобные и эффективные методы. Среди наиболее полезных — «обратная диаграмма рыбьей кости». Стандартная «диаграмма рыбьей кости», обычно используемая в промышленном проектировании, — графическая иллюстрация последовательности, в которой компоненты продукта собираются из материалов и деталей низкого уровня и последовательности, в которой конечный продукт собирается из деталей. «Обратная диаграмма рыбьей кости» — картина идеального процесса демонтажа, показывающая порядок удаления и разделения деталей (рис. 14.8). Создавая такую диаграмму, инженер часто может изучить возможности растущей рециклируемости продукта при сохранении других его желательных характеристик.

Потребность в конструировании с учетом демонтажа часто могут стимулировать большую изобретательность, как, например, попытки BMW спроектировать спортивную машину с пластмассовым корпусом. Панели корпуса разработаны так, чтобы их можно было полностью снять с металлических шасси за 20 минут; они сделаны из рециклируемого термопластика, поставляемого GE Plastics Corporation. Неожиданная побочная выгода от этой конструкции заключается в том, что ее оказалось гораздо проще ремонтировать, поскольку поврежденные детали можно быстро демонтировать и заменять.

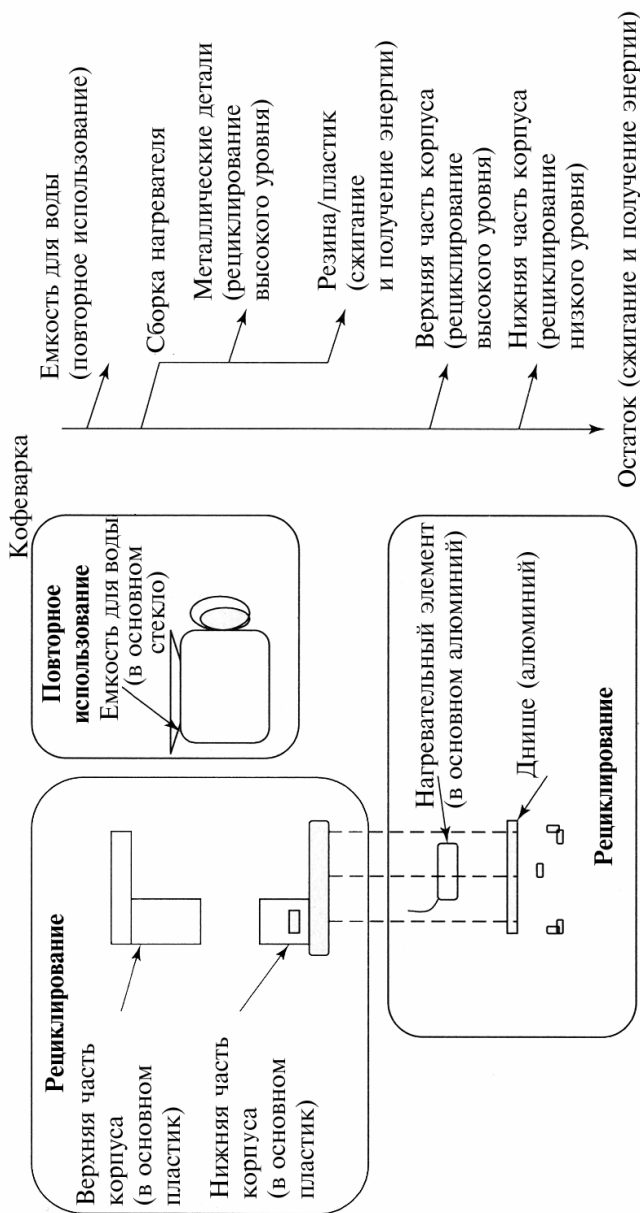


Рис. 14.8  
Диаграмма «обратной рыбной кости» для кофеварки

## 266 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Оценим сценарий проектирования с учетом демонтажа, сравнив издержки различных вариантов утилизации и число этапов, требуемых для разборки продукта (рис. 14.9). Если продукт подлежит захоронению на полигоне, наивысшие издержки возникают, когда вообще не производится разборка, поскольку объем и сложность обработки продукта максимальны. Издержки сокращаются, когда происходит некоторая разборка, но выравниваются только после прохождения многих этапов. Обратная ситуация возникает, если проводится разборка и модули или материалы используются повторно. Издержки, связанные с этим, очевидно, быстро растут с числом этапов демонтажа, в то время как остающиеся модули становятся меньше, а разборка усложняется и требует больше времени. Конструктор может минимизировать издержки конца жизненного цикла, если продукт можно более или менее полностью разобрать всего за несколько шагов. Наоборот, захоронение обойдется значительно дешевле, если требуется много этапов демонтажа.

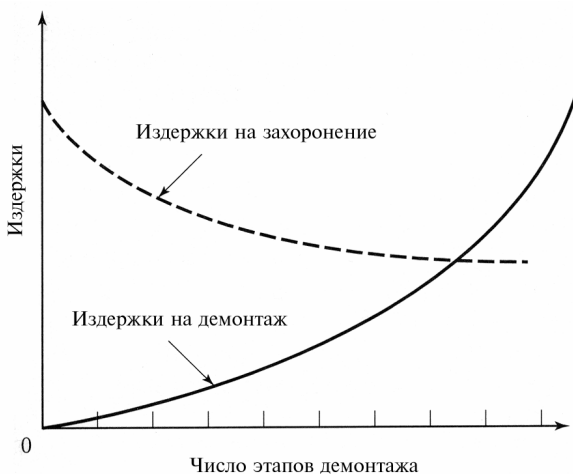


Рис. 14.9

Концептуальная взаимосвязь между числом этапов, необходимых для разборки продукта, и издержек альтернатив конца жизненного цикла

При демонтаже очень важно определить материалы, из которых был сделан продукт, и функции его модулей и компонентов.



Фирма редко получает свои собственные продукты на рециклирование, но это может быть основным препятствием для рециклирования на перерабатывающих предприятиях, имеющих дело с продуктами различных промышленных организаций. Чтобы смягчить эту сложность, технологический центр Sony в Штутгарте, Германия, предложил, чтобы все продукты включали в свою конструкцию «зеленый порт», т.е. электронный модуль, содержащий восстанавливаемые данные, защищенные от неумелого обращения. Этот модуль мог бы стать промышленным стандартом, к которому можно было бы обращаться через диагностический коннектор. Вероятно, какая-то форма этой идеи в конце концов будет реализована, по крайней мере для относительно дорогих и долговечных продуктов.

#### 14.6.2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ «НА ВСЯКИЙ СЛУЧАЙ»

Среди более необычных тем, которые входят в проектирование с учетом требований окружающей среды, есть и такие, в которых рассматриваются продукты, спроектированные в надежде и ожидании, что их использование может понадобиться редко или вообще никогда не понадобится. Запчасти — очевидный пример, но и продукты целиком могут также подойти под это определение. Например, аварийное оборудование, такое, как парашюты или медицинские препараты, спринклерные системы для пожаротушения или резервные защитные устройства для элеваторов. Диапазон технологий в производстве такого оборудования простирается до самых сложных, как в межконтинентальных баллистических ракетах с компьютерными системами управления.

Так же как обществу нужны «зеленые» продукты в его повседневной деятельности, ему необходимы и «зеленые» детали (запчасти), «зеленые» редко используемые продукты и (интригующее противоречие) «зеленое» оружие. Другими словами, только на том основании, что вещь разработана с разумным расчетом 10—20 лет не использоваться, а затем ее выбросят, но она должна работать в первый раз, когда это будет необходимо, конструктор этой вещи не освобождается от ответственности за разработку с учетом требований окружающей среды. Таким вопросам, как выбор материалов, модульность, проектирование с учетом демонтажа и особенно проектирование с учетом обслу-

## 268 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

живания, необходимо уделять особое внимание для продуктов «на всякий случай». Этой теме сегодня уделяется мало внимания, но обширная инвентаризация связанных материалов и продуктов подсказывает, что время для массированных действий давно упущено.

### 14.6.3 ПРИОРИТЕТЫ ПРИ РЕЦИКЛИРОВАНИИ

В качестве заключительного руководства для проектировщика мы приводим альтернативы рециклирования (в приоритетном порядке), разработанные American Electronic Association.

Обычно более предпочтительно:

- сокращение содержания материалов;
- повторное использование деталей/ремонт агрегатов;
- переработка;
- рециклирование материалов;
- сжигание с получением энергии (если это безопасно).

Обычно наименее предпочтительно выбрасывание в отходы.

Воздействие транспортировки, связанной с операциями рециклирования, может стать основной проблемой при принятии стратегии рециклирования. Даже в противном случае экологически предпочтительные виды деятельности, такие, как системы возврата продуктов после потребления, могут оказаться неудачными, если не рассматривать экологические издержки транспортировки. Система возврата упаковки в Германии, например, привела к высокому воздействию транспортировки на единицу упаковки при рециклировании тяжелых стеклянных бутылок, поскольку их приходилось перевозить далеко от места образования этих отходов. Обычно требуется анализ каждого конкретного случая для определения лучшего решения; в рамках этого анализа должен рассматриваться полный спектр воздействий, ценность восстанавливаемых материалов и альтернативы рециклированию низкого уровня или вообще отсутствию рециклирования. В то время как решение не рециклировать определенный материал или тип продукта интуитивно кажется неправильным, тщательный анализ, в котором принимаются во внимание все аспекты, иногда покажет, что это наилучшее решение со всех точек зрения.

Таким образом, рециклирование продуктов — не всегда правильная политика и не следует автоматически принимать решения рециклировать каким-то определенным образом. Имеет смысл рециклировать, только если энергетические, экологические и трудовые затраты таковы, что рециклирование предпочтительнее нерециклирования. Например, повторное использование или рециклирование емкостей для напитков должно проводиться, только если сырье просто и недорого собирать, транспортировать или использовать повторно. Другой пример: со старым оборудованием, не предназначенным для повторного использования или переработки, редко можно сделать что-либо, кроме извлечения материалов, и даже это может быть сложным и дорогим. Решения по рециклированию должны приниматься с позиций логики, поэтому часто такая позиция требует выбросить в отходы старые, разработанные без учета требований окружающей среды предметы. Как и в других областях промышленной экологии, здесь всегда есть выбор, и для определения наиболее разумного подхода к данной проблеме требуется подробный анализ. И, что особенно важно, рециклирование не должно приводить к большему воздействию на окружающую среду, чем его отсутствие.

### **Что делать со старыми шинами?**

Старые шины — хороший пример утилизации и повторного использования. Их количество поражает — каждый год выбрасываются миллионы. Десятки лет эти шины закапывали на свалках и в других, менее подходящих для этого местах, но тенденция шин «плавать» на свалках и ощущение того, что должны быть лучшие альтернативы, постепенно изменяет подход к проблеме.

Восстановление протекторов шин полезно при увеличении срока их жизни, хотя это просто оттягивает неизбежное. Перед неизбежным захоронением часть сегодняшних старых шин отправляется на современные заводы. Шины размельчают и разделяют их на три потока: маленькие кусочки шин, кусочки стали и крошка. Сталь можно легко рециклировать. Крошка сжигается для получения энергии (каждая шина содержит более восьми литров восстановимой нефти). Кусочки шин находят различные применения — при изготовлении беговых дорожек, резиновых сапог, асфальта и т. д.

Хотя необходимые технологии становятся доступны для различных типов рециклирования шин, соответствующий экономический анализ, возможно, еще не развит. Издержки захоронения отходов

## 270 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

никогда не интернализировались; в отличие от алюминиевых баков из-под напитков пользователи шин в настоящий момент при покупке не платят задаток за рециклирование. В результате рециклирование проводится только если оно выгодно, а во многих случаях выгоды нет. Частично причина этого кроется в том, что существует законодательство, запрещающее использование шин в качестве топлива мусоросжигательных заводов (хотя нефть, из которой сделаны шины, — это общепринятое топливо) или осложняющее транспортировку старых шин в город или через границу штата — туда, где находится завод по рециклированию. Очевидно, что индустрия, экономика и политика рециклирования играют определенную роль, если вопрос рассматривается должным образом.

Инженер по проектированию шин также должен играть определенную роль: он должен предвидеть конец жизненного цикла шин до того, как они произведены. Переработчики вторичного сырья сегодня имеют дело с шинами, разработанными без учета их конечной утилизации. Возможно, сумеют изменить состав шин, чтобы сделать их сжигание более эффективным, в то же время сокращая или прекращая выбросы токсических веществ. Возможно, шину сделают быстроразборной. Возможно шину изменят так, чтобы проще трансформировать ее в новый продукт. Инженеры добились значительного прогресса в рециклировании старых шин, экономисты и политики также начинают задумываться об этой ситуации. Инженер по проектированию все еще должен играть значительную роль.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Craig, P.P., Energy limits on recycling, *Ecological Economics*, 36, 373—384, 2001.

Field, F.R. III, J.R. Ehrenfeld, D. Roos, and J.P. Clark, *Automobile Recycling Policy: Findings and Recommendations*, Cambridge, MA: Center for Technology, Policy, and Industrial Development, Massachusetts Institute of Technology, 1994.

Guide, V.D.R., Jr., and L.N. van Wassenhove, Closed-loop supply chains, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 497—509, 2002.

Henstock, M.E., *Design for Recyclability*, London: Institute of Metals, 1988.

Klausner, M., W.H. Grimm, and C. Hendrickson, Reuse of electric motors in consumer products, *Journal of Industrial Ecology*, 2 (2), 89—102, 1998.

Lave, L.B., C. Hendrickson, and F.C. McMichael, Recycling decisions and green design, *Environmental Science & Technology*, 28, 19A—24A, 1994.

Lund, R.T., Remanufacturing, *Technology Review*, Feb/Mar., 19—28, 1984.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 14.1** В системе рециклирования по замкнутой петле массовый расход  $M$  составляет 5000 кг/ч,  $f = 0,7$ , а  $\rho = 0,1$ . Изобразите систему на диаграмме и покажите на ней все доли потоков.
- 14.2** В системе рециклирования по открытой петле значения массового расхода  $M1$  и  $M2$  соответственно равны 8000 и 6000 кг/ч,  $f = 0,6$ , а  $g = 0,1$ . Изобразите систему на диаграмме и покажите на ней все доли потоков.
- 14.3** В системе рециклирования по открытой петле задачи 14.2 предположите, что процесс рециклирования отклоняет 15% поступающего в него материала. Изобразите эту измененную систему на диаграмме и покажите на ней все доли потоков.
- 14.4** Вы проектируете стол, который предполагается использовать для сортировки фруктов в поле рядом с консервным заводом. У стола должна быть стальная поверхность и деревянные ножки. Поверхность должна иметь мягкое покрытие для сокращения ущерба фруктам. Поверхность и ножки должны периодически заменяться, и владелец консервного завода, который должен закупить несколько сотен столов, хочет, чтобы замена деталей была быстрой и эффективной. С помощью вашего ближайшего строительного магазина (если это необходимо) спроектируйте стол с учетом оптимального демонтажа.

## ГЛАВА 15

# Введение в оценку жизненного цикла

### 15.1 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Центральный принцип промышленной экологии — оценка жизненного цикла (*life-cycle assessment, LCA*), введенная кратко в гл. 8. Суть LCA заключается в изучении, выявлении и оценке соответствующих воздействий на окружающую среду материала, процесса, продукта или системы на протяжении их жизненного цикла от создания до утилизации или, что более предпочтительно, до воссоздания в такой же или другой полезной форме. Общество экологической токсикологии и химии определяет процесс LCA следующим образом:

Оценка жизненного цикла — это объективный процесс подсчета экологических воздействий, связанных с продуктом, процессом или деятельностью, путем подсчета и определения использованных энергии, материалов и выбросов в окружающую среду, и подсчета, реализации возможностей по введению в действие экологических улучшений. Оценка включает полный жизненный цикл продукта, процесса или вида деятельности, охватывая добычу и переработку сырья, производство, транспортировку и распределение, использование, повторное использование, обслуживание, рециклирование и конечное размещение.

Схема стадий жизненного цикла предполагает, что корпорация производит конечный продукт для отправки и продажи непосредственно покупателю. Часто, однако, корпорация производит полуфабрикаты — химические вещества для разных процессов, стальные болты, системы тормозов — сделанные для продажи и включения в состав продуктов другой фирмы. Как эта концепция применяется в таких обстоятельствах?

Представьте себе процесс производства, изображенный на рис. 15.1, (развитие рис. 8.4). На рисунке представлены три различных типа производства: (А) производство полуфабрикатов из сырья (например, пластиковые блоки из нефтяного сырья или рулоны бумаги из рециклированной макулатуры); (В) производ-

ство компонентов из полуфабрикатов (например, кнопки для одежды из стали или окрашенного материала из хлопка); и (С) переработка полуфабрикатов (например, хлопчатая ткань) или сборка переработанных материалов (например, пластиковый корпус) в конечные продукты (например, рубашки или магнитофоны).

Рис. 8.4 показывает производство С, где команда по проектированию и производству осуществляет фактически полный контроль над всеми стадиями жизни продукта, кроме стадии 1 — предпроизводственной. Для корпорации, чья деятельность относится к типу А или В, перспектива изменяет некоторые стадии жизни, но не все.

*Стадия 1, предпроизводственная.* До тех пор пока корпорация типа А является действительным добытчиком материалов, концепция этого этапа жизни идентична для корпораций всех типов.

*Стадия 2, производство.* Идея этой стадии жизни идентична для корпораций всех типов.

*Стадия 3, доставка продуктов.* Концепция этой стадии жизни идентична для корпораций всех типов.

*Стадия 4, использование продукта.* Для корпораций А использование продукта в сущности контролируется корпорациями В или С, хотя свойства продукта, такие, как чистота или состав полуфабрикатов, могут влиять на производство побочных продуктов и отходов. Для корпораций В их продукты иногда могут оказывать воздействие на стадию использования конечного продукта корпорации С, как при использовании энергии трубами охлаждения или в требовании смазки подшипников.

*Стадия 5, ремонт, рециклирование или захоронение.* Свойства промежуточных материалов, производимых корпорациями А, часто могут определить возможность рециклируемости конечного продукта. Например, ряд пластиков сейчас проектируются с учетом оптимизации их рециклируемости. Для корпораций В подход к стадии 5 зависит от сложности производимой детали. Если речь идет о детали, например, о конденсаторе, количество и разнообразие ее материалов и ее структурная сложность заслуживают рассмотрения. Если это можно назвать модулем, проблемы аналогичны проблемам производителя конечного продукта — простота разборки, возможность ремонта и т.п.

274 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

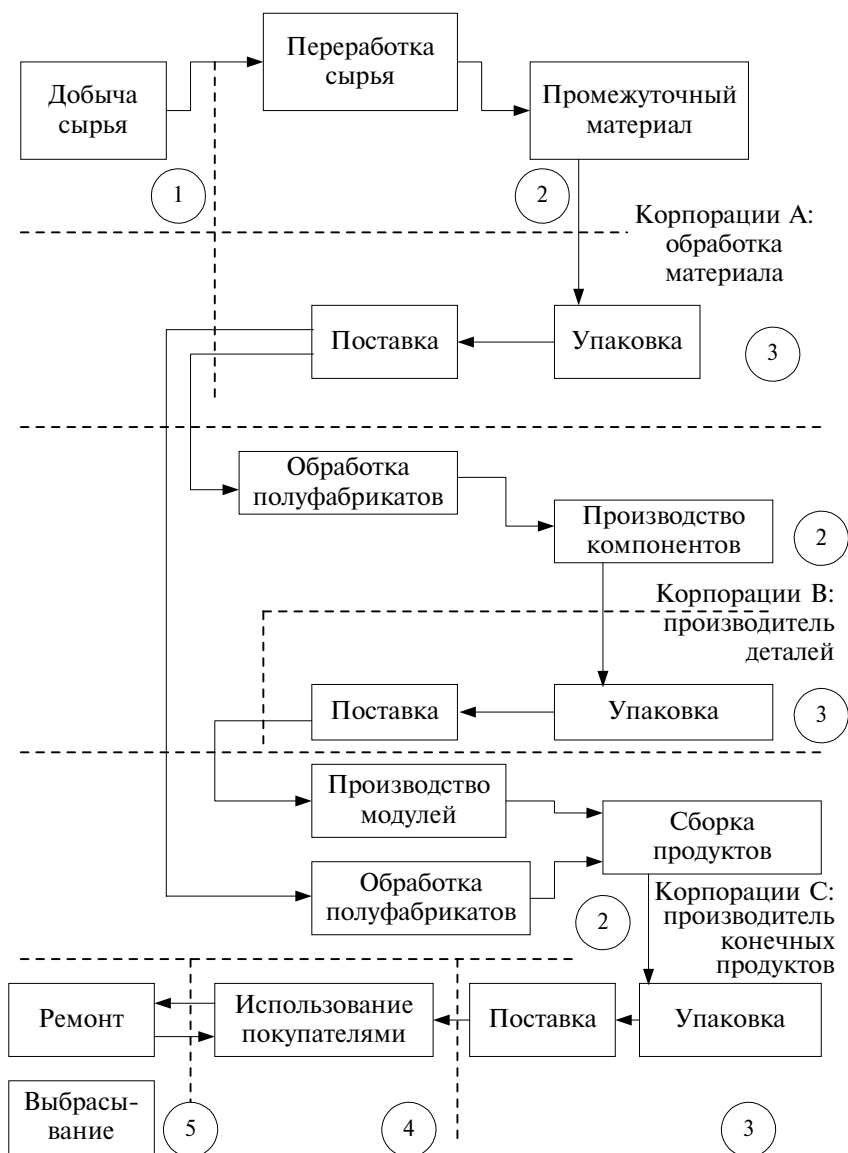


Рис. 15.1

Взаимодействия стадий жизни продуктов корпораций А (переработчиков материалов), В (производителей деталей) и С (производителей конечных продуктов)



Таким образом, корпорации А и В могут и должны иметь дело с оценкой DfE их продуктов, почти так же как и корпорации С. Вопросы первых трех этапов жизни в принципе находятся полностью под их контролем. Для последних двух стадий жизни на продукты корпораций А и В воздействует корпорация С, с которой они имеют дело, и в свою очередь их продукты воздействуют на характеристики этапов 4 и 5 продуктов корпорации С.

## 15.2 РАМКИ LCA

Оценка жизненного цикла может быть крупной и сложной задачей и иметь много вариантов. Тем не менее существует общее соглашение по формальной структуре LCA, которая содержит три стадии: *определение цели и масштаба, инвентаризацию выбросов и анализ воздействия; при этом за каждой стадией следует интерпретация результатов* (рис. 15.2). Сначала определяются цель и масштаб LCA, затем проводятся инвентаризация выбросов и анализ воздействия. Интерпретация результатов на каждой стадии стимулирует анализ возможных улучшений (которые могут в качестве обратной связи воздействовать на каждый из этапов, так что весь процесс носит итеративный характер). Наконец, выпускается руководство по проектированию с учетом требований окружающей среды.

Возможно, для начала оценки LCA нет более важного шага, чем точное определение масштаба оценки: какие материалы, процессы или продукты должны рассматриваться и насколько широко будут определены альтернативы? Рассмотрим, например, вопрос сбросов хлорированных растворителей в процессе обычной химической чистки. Цель анализа — сокращение воздействия на окружающую среду. Однако рамки анализа должны быть ясно определены. Если он ограничен, рамки могут включать только методы хорошего ведения домашнего хозяйства, регулирования «конца трубы», административных процедур и изменений процесса. Альтернативные материалы — в данном случае растворители — также должны рассматриваться. Если, однако, рамки определяются широко, они могут включать альтернативные варианты оказания услуг: некоторые данные показыва-

## 276 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ют, что множество вещей отправляют в пункты химической чистки не для чистки, а только для утюжки. Соответственно предложение альтернативных услуг по утюжке может значительно сократить выбросы. Можно взглянуть на проблему системно: при том, что нам известно о полимерах и волокнах, почему все еще используются тканые материалы и процессы чистки, которые требуют хлорированных растворителей? Среди вопросов, которые повлияли бы на выбор масштаба в случаях, аналогичных упомянутому выше: (а) кто осуществляет анализ и насколько можно контролировать реализацию альтернатив; (b) какие ресурсы доступны для проведения исследования; и (с) каковы наиболее узкие рамки анализа, которые все-таки обеспечивают адекватное рассмотрение системных аспектов проблемы?

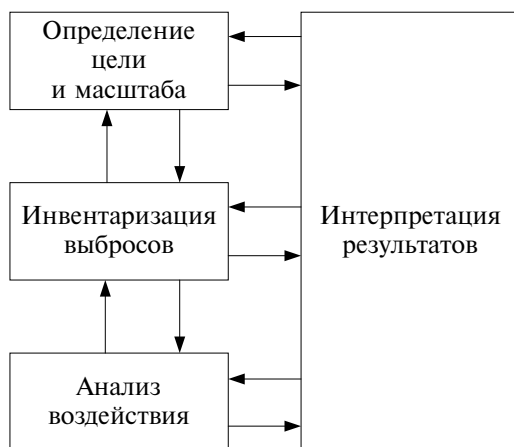


Рис. 15.2

Стадии оценки жизненного цикла технологической деятельности. Стрелки обозначают основные потоки информации. На каждом этапе результаты интерпретируются, обеспечивая, таким образом, возможность корректировки экологических характеристик оцениваемой деятельности (Адаптировано из Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice*, Pensacola, FL, 1993.)

Следует также оценить ресурсы, которые можно использовать для проведения анализа. Большинство традиционных методов LCA в сущности дают возможность неограниченного сбора

данных и, таким образом, фактически неограниченных затрат ресурсов. Как общее правило, глубина анализа должна привести в соответствие степени свободы выбора альтернативы и важность экологических или технологических аспектов, приводящих к оценке. Например, анализ использования различных пластиков в корпусе производимого в настоящее время портативного проигрывателя компакт-дисков, возможно, не потребует сложного анализа: степени свободы, доступные проектировщику в такой ситуации, уже довольно ограничены существующей конструкцией и его рыночной нишей. С другой стороны, правительственные регулирующие органы, предполагающие ограничить использование сырья в больших количествах в многочисленных и разнообразных производственных приложениях, пожелали бы провести действительно всесторонний анализ, поскольку степеней свободы при поиске заменителей может быть довольно много и воздействие заменителей, широко используемых в экономике, на окружающую среду может быть значительным.

Вторая составляющая LCA — инвентаризационный анализ (иногда называемый LCIA), несомненно, разработан лучше всего. Он использует количественные данные для определения уровней и типов энергии и материалов, используемых в промышленной системе, и соответствующих выбросов в окружающую среду (рис. 15.3). Подход основан на идее семейства материальных бюджетов, в которых аналитики измеряют затраты и выход энергии и ресурсов. Оценка осуществляется по всему жизненному циклу.

Третья стадия LCA, анализ воздействия, включает сопоставление выбросов системы и воздействий на внешний мир, в который эти выбросы попадают или по крайней мере нагрузок, оказываемых на внешний мир. Различные аспекты этой сложной и потенциально противоречивой темы обсуждаются в следующей главе.

Фаза интерпретации результатов заключается в том, что на основании данных, полученных на предыдущих этапах, делаются выводы и даются рекомендации. На этом этапе часто получают объяснение потребностей и возможностей сокращения воздействия на окружающую среду в результате осуществляемой или предполагаемой промышленной деятельности. Идеально это

## 278 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

осуществляется в двух формах: (1) поддерживающей DfE и (2) предотвращающей загрязнения.



Рис. 15.3

Элементы инвентаризационного анализа жизненного цикла (Адаптировано из Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), *A Technical Framework for Life-Cycle Assessment*, Washington, DC, 1991.)

Менее обширные, но все-таки ценные действия могут быть предприняты в результате интерпретации результатов стадий обзора (определения рамок) и инвентаризации выбросов.

## 15.3 ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАМОК

Обычно целью LCA ставится проведение оценки экологических свойств определенного продукта или процесса и получение информации о том, как улучшить экологические показатели рабо-

ты. Если этот анализ проводится на раннем этапе разработки, целью может быть сравнение двух-трех альтернативных проектов. Если проектирование закончено или продукт уже производится, или процесс запущен, возможно, целью может быть всего лишь достижение небольших изменений экологических характеристик при минимальных издержках и минимальном вмешательстве в существующие операции.

Возможно, что цель оценки будет гораздо более серьезна, чем оценивание отдельного продукта или процесса. Обычно это происходит при оценке какой-либо системы, работы всего предприятия или корпорации, или, например, правительственного учреждения. В таком случае, вероятно, будут исследованы альтернативные операциональные подходы, но не альтернативные системы. Кроме того, система, которая образует логическое целое с точки зрения LCA, может включать более одного агента, поэтому может потребоваться совместная целевая установка. Если цель может быть определена количественно, например, «достичь 20%-го сокращения общего воздействия на окружающую среду», это, вероятно, будет более полезно, и результат легче оценивать, чем в случае качественных целей. Однако количественное определение (квантификация) цели требует квантификации каждого шага оценки, и количественные цели должны ставиться только тогда, когда известно, что доступны соответствующие данные и инструменты оценивания.

Рамки оценивания легче всего определить с помощью ряда вопросов: почему проводится исследование? как будут использоваться результаты и кто будет их использовать? необходимо ли рассматривать особые экологические вопросы? каков необходимый уровень детализации? Полезно понимать, что оценка жизненного цикла — это итеративный процесс, который может потребовать пересмотра рамок исследования.

## 15.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ

Потенциальная сложность всеобъемлющего LCA иллюстрируется как нельзя лучше проблемой определения границ исследования. Существует много вопросов для обсуждения в этой связи, и нет общего мнения, какой подход считать лучшим. Исследуем

## 280 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ряд таких вопросов и дадим некоторые общие рекомендации, касающиеся выбора границ LCA.

### 15.4.1 ГРАНИЦЫ ЭТАПОВ ЖИЗНИ

Первые попытки оценить относящиеся к промышленности воздействия на окружающую среду концентрировались исключительно на деятельности в рамках самих производственных предприятий. С точки зрения жизненного цикла эти подходы можно рассматривать как ограниченные этапом жизни 2 или те, что сегодня иногда называют *анализом от ворот-до ворот (gate-to-gate analysis)*, т.е. от ворот предприятия, через которые поступают материалы, до ворот, через которые выходят продукты. Традиционные методы предотвращения загрязнения имеют похожие ограничения.

Экологические характеристики некоторых продуктов во время их использования стали острой проблемой в конце 1980-х годов. Начали широко контролировать выбросы выхлопных газов автомобилей, были выпущены постановления или руководства по потреблению энергоустройств и офисной техники. Таким образом, производители были поощрены думать об относящихся к окружающей среде аспектах стадии жизни 4.

В начале 1990-х годов Германия внедрила регулирование, требующее, чтобы производители принимали упаковку от своих продуктов: коробки, амортизирующий пенопласт, пластик и т.д. Это поощрило производителей минимизировать упаковку и сделать ее более рециклируемой, в итоге добавив этап жизни 3 к корпоративной экологической оценке.

Стадию жизни 5 также начали рассматривать. Несколько европейских стран приняли законы или соглашения «о возврате», которые понуждают производителей перерабатывать свои продукты, когда покупательский спрос на них падает. Некоторые производители обнаруживают, что такая переработка, за которой следует обновление и повторное использование, может быть выгодной. Эти действия в свою очередь поощряют проектирование и решения по выбору материалов, которые оптимизируют ценность восстановленных продуктов. В результате экологическое планирование включает этап жизни 5.

Этап жизни 1, допроизводственный, оказался сложным для рассмотрения, поскольку этот этап находится вне прямого контроля производителя. Некоторые корпорации, однако, работают со своими поставщиками в таких областях, как выбор материалов и упаковки, которые влияют на степень опасности отходов и производимых продуктов. Эти темы можно легко включить в компонент LCA этапа жизни 1.

### 15.4.2 ГРАНИЦЫ УРОВНЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ

В какой степени следует включать детали в LCA? Лицу, проводящему оценку, часто требуется решить, следует ли затрачивать усилия на определение воздействия на окружающую среду таких компонентов, как незначительные добавки в состав пластмасс или маленькие латунные компоненты большого стального агрегата. Некоторые современные продукты содержат сотни материалов и тысячи деталей, что может привести к далеко не тривиальному решению. Один из способов решения этой проблемы — *правило 5%* (*5% rule*): если материал или деталь составляют менее 5% веса продукта, в LCA им пренебрегают. Обычное исключение из этого правила — включение любых компонентов с особенно серьезными воздействиями на окружающую среду. Например, свинцово-кислотная батарея в автомобиле весит менее 5%, но токсичность свинца делает включение батареи в LCA обоснованным. Потенциальными элементами для LCA могут быть ртутные реле, хромированные детали и радиоактивные материалы.

### 15.4.3 ГРАНИЦЫ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В ряде промышленных процессов природные процессы взаимодействуют с процессами технологического общества. Рассмотрим производство электроэнергии в результате сжигания древесины (рис. 15.4) Промышленные компоненты — это лесозаготовка (топливо на валку леса и транспортировку) и сам процесс сжигания. Природные компоненты (которым, возможно, помогают действия человека) — образование биомассы леса (т.е. рост деревьев) и биodeградация отходов лесозаготовки. Некоторые аналитики LCA решили бы провести границу оценивания только вокруг промышленных компонентов процесса, в то время как другие включили бы также и природные компоненты. По-

## 282 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

следнее более полно, но включение природных компонентов, по-видимому, сделает анализ значительно более сложным.

Второй вопрос, связанный с природными экосистемами, который возникает при выборе границ LCA, — биологическая деградация. Когда промышленные материалы выбрасываются, например, на свалку, в результате биоразложения происходят выбросы метана — от бумаги, хлорфторуглеродов — от пенопластовой упаковки и появляются медь, железо и цинк из металлолома. Подходы LCA к таким осложнениям подразумевали включение этих потоков в инвентаризацию, полностью исключая выбросы с полигона отходов, или допуская эти потоки только на определенный период времени. Потоки с полигонов обычно сложно оценить, так что экологи сталкиваются с выбором между понятностью и возможностью отследить результаты.

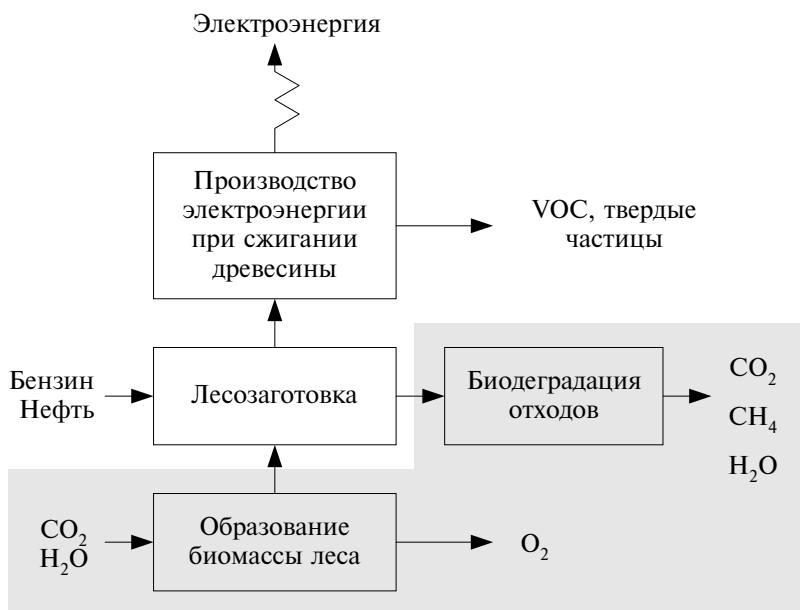


Рис. 15.4

Производство электроэнергии в результате горения древесины. Граница LCA может быть выбрана с учетом включения затененных областей или невключения их. Последствия этого выбора обсуждаются в тексте (Адаптировано из L.-G. Lindfors, et al., *Technical Report No. 4*, Tema Nord 1995. 502.)



Третий пример природно-промышленной границы — процесс производства бумаги из древесной массы (рис. 15.5). Здесь лицо, проводящее оценивание, может выбирать из нескольких уровней инвентаризационной детализации. Основной анализ в сущности представляет собой ограничение инвентаризации этапом жизни 2. Энергетический анализ включает в себя некоторые из внешних потоков, относящихся к производству энергии. Расширенный анализ включает в себя все стадии жизненного цикла и потоки, прямо связанные с промышленной системой. Всесторонний анализ включает природный процесс формирования биомассы и разложения материалов на полигоне отходов. Ни одну из этих альтернатив нельзя считать единственно правильной или неправильной, но сделанный выбор может определить результаты LCA.

#### 15.4.4 ГРАНИЦЫ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВО ВРЕМЕНИ

Воздействия на окружающую среду характеризует то, что их влияние может сказаться на очень больших расстояниях и через большие промежутки времени. Выброс крупных частиц сажи оказывает местное влияние, выбросы оксидов и азота вызывают кислотные дожди за сотни километров, а выбросы диоксида углерода воздействуют на энергетический баланс планеты. Аналогично, выбросы, вызывающие фотохимический смог, воздействуют только день или два, разрушение экосистем — несколько десятилетий, стимулирование глобального изменения климата — несколько столетий. Границы LCA можно установить на краткий срок и малые расстояния, на долгий срок и планетарные расстояния или где-нибудь посередине. Выбор любого из этих вариантов границы в пространстве и времени может быть уместным в зависимости от рамок LCA.

#### 15.4.5 ВЫБОР ГРАНИЦ

Очевидно, что выбор границ LCA может оказать огромное влияние на временной масштаб, издержки, результаты, значимость и возможность отслеживать результаты. Наилучший совет, который можно дать: границы должны соответствовать целям процедуры. Маловероятно, что LCA для портативного радиоприемника поставит цели, которые охватят воздействия, связанные с добычей энергии, например, потому, что продукт невелик и его энергетическое воздействие будет без сомнения довольно

## 284 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

умеренным. Национальное исследование, сфокусированное на потоках определенного вида сырья, может иметь гораздо более понятную цель, однако границы будут очерчены более широко. Цели LCA, таким образом, определяют большую долю его масштаба, а также глубину инвентаризации и анализа воздействия.

### 15.5 ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ ДАННЫХ

Как только рамки оценки LCA определены, аналитик переходит к получению необходимых данных. При содействии команды проектирования и производства процесс начинается с построения инвентаризационной диаграммы потоков DfE. Ставится цель перечислить, по крайней мере качественно, но лучше количественно, все входы и выходы материалов и энергии на протяжении всех этапов жизненного цикла. На рис. 9.1 был приведен пример такой диаграммы для производства настольного телефона, в котором корпус покрыт предварительно окрашенной смолой на заводе, печатные платы производятся из деталей, поставляемых поставщиками, и все это и другие детали (микрофон, гнезда, батарейки и т.д.) собираются в конечный продукт. Диаграмма показывает ряд побочных продуктов сырья и энергии (последнее — в основном неиспользованное тепло). Как только создана инвентаризационная диаграмма с максимально возможной степенью детализации, может начаться настоящий инвентаризационный анализ.

Часть информации, необходимой для инвентаризационного анализа, проста, как, например, объемы определенных материалов, необходимых для данной конструкции, или объем охлаждающей жидкости, необходимой для определенного производственного процесса. Количественные данные, очевидно, обладают преимуществами: они широко используются в высокотехнологичных культурах, они дают мощные средства манипулирования и заказа информации, они упрощают выбор между вариантами. Однако состояние информации в экологических науках может не дать возможности надежно рассчитывать экологические и социальные воздействия из-за фундаментальных недостатков данных и методологии. Результатом неточного расчета может быть то, что проблемы, которые нельзя просчитать, будут просто проигнорированы — таким образом подтачивая системный подход, положенный в основу идеи LCA.

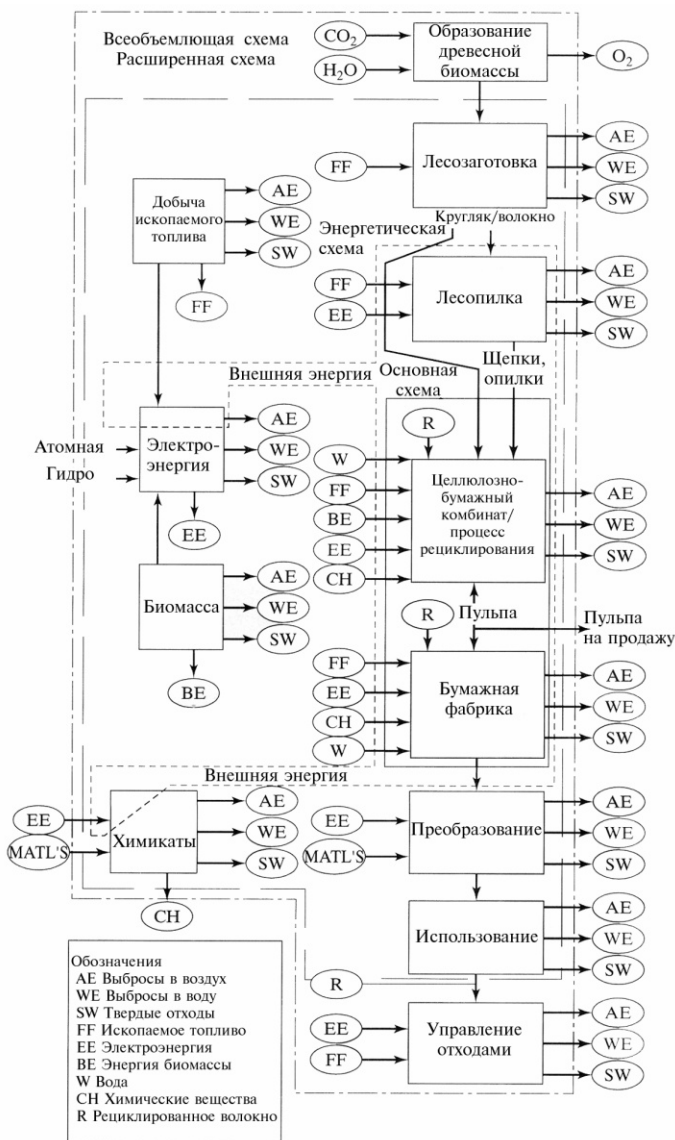


Рис. 15.5

Диаграмма упрощенной количественной инвентаризации потоков для производства бумаги. Показаны четыре уровня возможной детализации (Адаптировано из диаграммы, предоставленной Мартином Хокингом, University of British Columbia.)

## 286 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

В некоторых случаях доступная информация может не поддаваться расчету, но все-таки быть полезной. Аналитик должен стремиться подойти к потребностям в данных с широких позиций. Качественная информация, применяется ли она к выбору материалов, процессов, деталей или сложных продуктов, может часто быть также ценна, как и количественные данные. Качественный подход может быть несколько спорным, в особенности среди инженеров и специалистов по бизнес-планированию, которые имеют пристрастие к количественным системам, но его полезность достаточно высока, поэтому его применение в определенной форме обычно имеет смысл.

Чтобы максимизировать эффективность и инновации и избежать предвзятости в нормативных вопросах, информационная система LCA не должна быть предписывающей. Она должна давать информацию, которая может быть использована отдельными проектировщиками и лицами, принимающими решения при ограничениях и возможностях, с которыми они сталкиваются, но не должна на ранних этапах анализа произвольно исключать возможные варианты проектов. В некоторых случаях использование высокотоксичных материалов может быть обоснованным и экологически предпочтительным среди альтернатив — там, где проектировщик процесса может использовать соответствующий инженерный контроль. В других случаях выбор процесса, включающего использование значительных количеств свинца, может потребовать только умеренных выбросов CO<sub>2</sub>. Если токсичный свинец можно надежно сохранять, предпочтительным может быть первый вариант. Разработка продуктов и процессов требует неперенного балансирования таких вопросов и ограничений, и необходимый выбор может быть сделан только в каждом конкретном случае процесса реализации продукта.

В идеальном случае должно быть возможно математически совместить данные LCIA на различных иерархических уровнях, например, объединить информацию LCIA по медной проволоке с информацией по поливинилхлоридному пластику для получения результата LCIA по медной проволоке с пластиковой изоляцией. На практике, однако, различия в масштабе, временных промежутках и т.д. обычно требуют, чтобы всякий анализ LCIA проводился с самого начала. Этот очевидный недостаток методологии подчеркивает, что анализ LCIA все еще развивается и его нельзя считать законченным инструментом.

Информация LCA должна обеспечить не только необходимые данные, но и, если это возможно, степень неопределенности, связанной с этими данными. Этот подход особенно важен в области охраны окружающей среды, где неопределенность, в особенности по рискам, потенциальным издержкам и потенциальным реакциям природной системы на воздействия, эндемичен. Относительно простые порядковые индикаторы «высокая достоверность», «умеренная достоверность» и «низкая достоверность» будут широко использоваться теми, кто в действительности принимает решения по проектированию. Пример этого подхода приведен в Приложении А, где альтернативные системы припоп оцениваются с помощью матричного LCA.

---

## Поверхностно-активные вещества

Поверхностно активные вещества — составляющие растворителей, которые помогают в очищении от грязи в процессе стирки вещей. Могут использоваться различные поверхностно-активные вещества, и каждое производится из своего сырья. Для предпочтительного выбора варианта источников и производства растворяющих веществ компания Procter & Gamble, в кооперации с Franklin Associates, провела обширное исследование инвентаризации жизненного цикла.

В начале исследования были разработаны диаграммы производственных потоков из сырья в продукты. Пример использования плодов пальмы как основного сырья показан на рис. 15.6. Нефть-сырец и природный газ также необходимы для синтеза желаемого продукта, этоксилатов спирта (АЕ). Для каждого потока материалов были измерены потребности по массе и определены выбросы (на диаграмме не показаны). Проводилась оценка производства поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, пальмового масла и животного жира. Некоторые результаты показаны в табл. 15.1.

Результаты показывают больше сходства, чем различий, но различия стоит прокомментировать. Одно из них — гораздо большее потребление воды при использовании жира, связанное с необходимым орошением посевов, идущих на корм крупному рогатому скоту (скот является основным источником жира). Потребность в энергии для нефтехимического восстановления выше, чем для пальмового масла или жира. Частицы и загрязняющие почву выбросы от продуктов нефтехимии значительно ниже, чем в других вариантах. Исследователи пришли к выводу, что выгоды одного процесса нейтрализуются обязательствами другого, и экологические соображения не привели к фундаментальным сдвигам в сторону какого-либо из мировой смеси источников сырья, используемого для производства поверхностно-активных веществ.

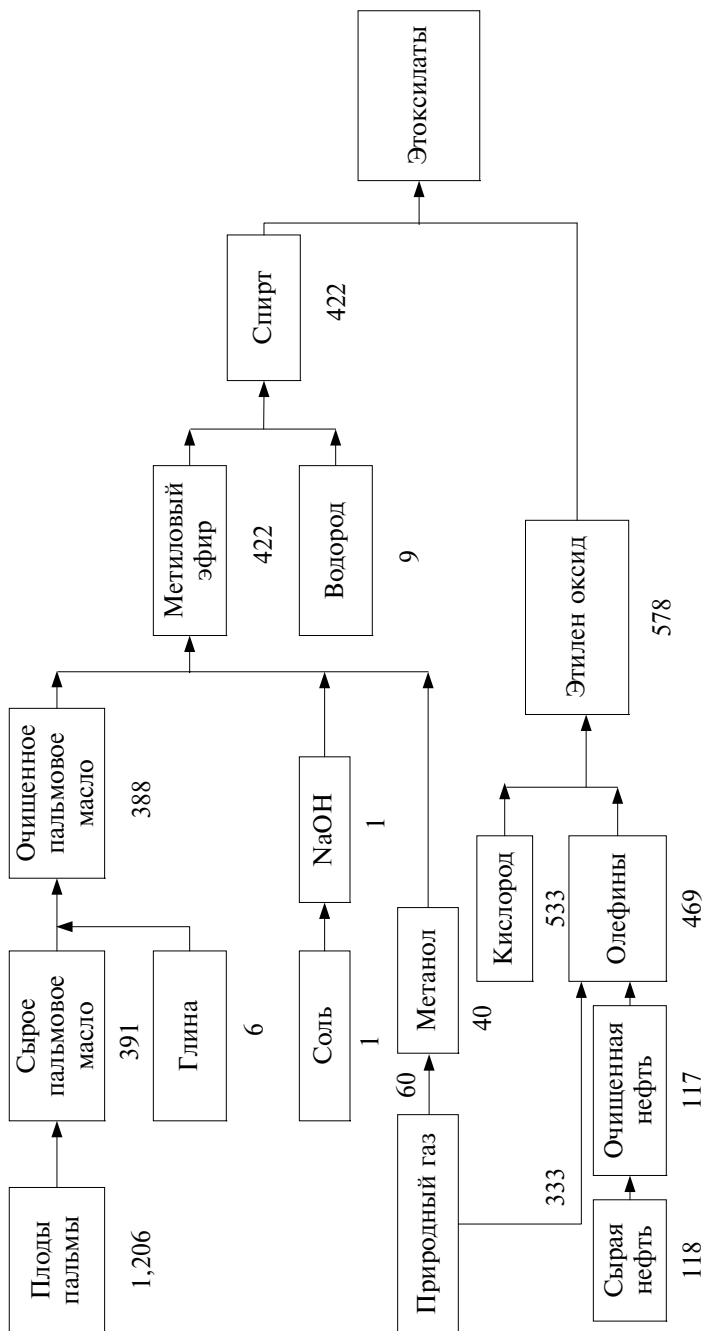


Рис. 15.6

Поток материалов для производства поверхностно-активного моющего вещества из пальмового масла. Указаны массы (кг), требуемые на производство 1000 кг этоксилов (С.А. Pittinger, J.S. Sellers, D.C. Janzen, D.G. Koch, T.M. Rothgeb, and M.L. Hunicutt. Environmental life-cycle inventory of detergent-grade surfactant sourcing and production, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70, 1—15.)

ТАБЛИЦА 15.1 Потребность в сырье, потребность в энергии и нетто-выбросы в течение жизненного цикла производства АЕ

Поток	Сырье		
	Нефтепродукты	Пальмовое масло	Жир
Органическое сырье*	935	899	891
Использование воды*	40	49	415
Использование энергии**			
Сырье	50	26	27
Транспорт	3	5	7
Переработка	39	37	40
Выбросы в атмосферу			
Частицы	2,2	9,0	8,0
Углеводороды	39,2	33,2	34,8
Сбросы в воду***			
Растворенные сухие вещества	5,6	5,3	4,3
Масло	0,065	0,12	0,30
Загрязнение почвы***	76	111	139

\* Кг на 1000 кг сырья.

\*\* ГДж энергии на 1000 кг сырья.

\*\*\* Кг выбросов на 1000 кг поверхностно-активного вещества.

Из С.А. Pittinger, J.S. Sellers, D.C. Janzen, D.G. Koch, T.M. Rothgeb, and M.L. Hunnicutt, Environmental life-cycle inventory of detergent-grade surfactant sourcing and production, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70, 1—15, 1993.

Смысл таких исследований гораздо более широк, чем выбор источника сырья. Разумеется, эти исследования приложимы ко всем промышленным операциям. На практике они поддерживают предотвращение загрязнения. Однако оценка источников сырья и спектр мероприятий по предотвращению загрязнения не сталкиваются с действительно важным вопросом внедрения LCA в промышленных условиях: приписыванием относительных значений воздействия каждому из сравнимых материальных потоков и использований энергии, сделанных в этом анализе. Без таких относительных значений косвенно предполагают, что выброс килограмма стоков предприятия так же важен, как выброс килограмма озоноразрушающего газа или килограмма токсичных твердых отходов. Очевидно, воздействия на окружающую среду не одинаковы, и попытка сравнить их затрагивает регулирующие, юридические, экологические, корпоративные и социальные факторы. Этот важный этап LCA — этап анализа воздействия — рассматривается в следующей главе.

## 290 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

#### *Введение и обзоры*

Curran, M.A., *Environmental Life-Cycle Assessment*, New York: McGraw-Hill, 1996.

Guinee, J., et al., *Handbook on Life Cycle Assessment—Operational Guide to the ISO Standards*, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Lindfors, L.-G. et al., *Nordic Guidelines for Life Cycle Assessment*. Copenhagen, Denmark-Nordic Council of Ministers, Report Nord 20, 1995.

U.S. Environmental Protection Agency, *LCA101*, Cincinnati, OH, 2000. Available on <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lcal01.htm>, accessed Jan. 9, 2002.

#### *Изучение ситуаций*

Pittinger, C.A., J.S. Sellers, D.C. Janzen, D.G. Koch, T.M. Rothgeb, and M.L. Hunnicutt, Environmental life-cycle inventory of detergent-grade surfactant sourcing and production, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70, 1—15, 1993.

### УПРАЖНЕНИЯ

- 15.1 Выберите обычный, но сложный бытовой прибор: холодильник, телевизор или посудомоечную машину. Опишите этапы жизненного цикла бытового прибора, включая определение того, кто в основном отвечает за проблемы охраны окружающей среды на каждом этапе.
- 15.2 Вы — аналитик LCA на бумажной фабрике и вас попросили провести LCA нового типа бумаги, который будет использоваться для печатания денег. Определите и опишите рамки своей оценки.
- 15.3 Повторите упражнение 15.2 для ситуации, в которой вы работаете в деревообрабатывающей компании, поставляющей сырье для производства бумаги.
- 15.4 Выберите один из следующих продуктов: кусок мыла, велосипед, жидкость для мытья автомобиля, океанский грузовой корабль. Для каждого начертите диаграмму потоков материалов и энергии (см. рис. 9.1), но с минимальной детализацией на этапе производства и более детально на этапе использования продукта. Предложите последовательность действий инженера-проектировщика по каждому из этих продуктов.



## ГЛАВА 16

# Стадии воздействия и интерпретации LCA

### 16.1 АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ LCA

В предыдущей главе обсуждалась составляющая LCA — инвентаризационный анализ. В некоторых случаях на этой стадии добывается количественная информация по потокам материалов и энергии, в других — качественная. Данные предыдущей главы показывают, что некоторые аспекты анализа жизненного цикла могут быть более проблематичны, чем другие, но рассматриваемый подход уклоняется от расстановки приоритетов. Можно легко представить ситуацию, в которой альтернативные проекты продукта или процесса имели бы близкие темпы использования материалов, но использовали бы различные материалы. Как аналитик делает рациональный, аргументированный выбор между такими альтернативами? Ответ: (1) должно быть внимательно рассмотрено выявленное в ходе инвентаризационного анализа LCA влияние деятельности на определенные экологические характеристики и (2) относительная серьезность изменений соответствующих экологических характеристик должна быть ранжирована по приоритетам. В совокупности эти этапы составляют оценку воздействия LCA.

Оценка воздействий на окружающую среду — это сложная процедура, но она может, по крайней мере в принципе, быть осуществлена, при использовании стрессоров, определенных в инвентаризационном анализе и способных изменять экологические характеристики (например образование диоксида углерода в результате использования энергии). Взаимосвязи между стрессорами и окружающей средой определяются экологами и не всегда имеют степень детализации и точность, необходимую в LCA. В идеальном случае, однако, необходимые взаимосвязи стрессоров будут определены и станут доступными для использования. Комбинируя результаты инвентаризации LCA с этими взаимосвязями, можно разработать процесс производства, оказывающий минимальное воздействие на локальное качество во-

## 292 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ды, умеренное воздействие на смог в регионе и значительное воздействие на разрушение стратосферного озона. Этот процесс протекает в несколько этапов.

*Классификация.* Классификация начинается с прикидочных данных по потокам материалов и энергии инвентаризационного анализа. При наличии этих данных этап классификации состоит в определении экологических проблем на основании потоков, полученных в инвентаризационном анализе. Например, может быть известно, что выбросы промышленного процесса, использующего нефтяное сырье, содержат метан, бутен и формальдегид. Классификация приписывает первый глобальному потеплению, второй — образованию смога и третий — токсичности, связанной с деятельностью человека.

*Характеристика.* Характеристика — это процесс комбинирования различных зависимостей, стрессор—воздействие в одну общую схему. Пример — использование озоноразрушающего потенциала, в котором воздействие молекулы одного вида на стратосферный озон количественно сравнивается с воздействием молекулы другого вида.

*Локализация.* Локализация — это операция по приписыванию экологических воздействий к различным географическим регионам, которые обладают различными характеристиками. Например, в процессе локализации пытаются сравнить выброс 1 кг умеренно токсичного материала в нетронутой экосистеме с воздействием такого же выброса в сильно загрязненной экосистеме. Здесь играют роль два фактора. Первый — взаимодействие выбросов оцениваемого продукта или процесса по отношению ко всем похожим выбросам в регионе. Второй — это степень, в которой регион обладает ассимиляционной способностью по отношению к загрязняющему веществу. Примеры подходов к этому этапу приводятся далее в этой главе. (Локализация иногда называлась нормализацией, но слово «локализация» носит более описательный характер. Оно также меньше вводит в заблуждение, поскольку общий математический процесс нормализации данных на различных шкалах иногда используется в LCA).

*Оценивание.* Оценивание — это процесс приписывания весовых коэффициентов различным категориям воздействия

на основе их наблюдаемой относительной важности, установленной в результате социального консенсуса. Например, оценщики или международная организация по стандартизации могли бы договориться считать озоноразрушающие воздействия в 2 раза более важными, чем потеря видимости, и применить соответствующие весовые коэффициенты к нормализованным воздействиям.

Хотя среди специалистов по проблемам окружающей среды было более принято оценивать воздействия индивидуально, а не пытаться ранжировать их по приоритетам, были созданы различные подходы к приоритетности: ниже мы обсудим ранжирование экологических проблем, которое при этом получилось. Цель этой главы — не представление или защита определенного ранжирования воздействий, но иллюстрация процесса.

## 16.2 ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРИОРИТЕТНОСТЬ: СИСТЕМА IVL/VOLVO

Первой попыткой определить более структурированную основу для оценивания экологической ответственности отдельного производственного процесса была попытка Роджера Шелдона (Roger Sheldon) из Delft Institute of Technology, Нидерланды, который предложил в контексте синтеза органических химических веществ концепцию утилизации атома, (*atom utilization concept* (AU)), вычисляемой делением молекулярной массы желаемого продукта на суммарную молекулярную массу всех производимых продуктов и отходов. Расширяя эту концепцию и осознавая, что природа отходов важна так же, как и их объем, он предложил экологический коэффициент ( $EQ$ ), задаваемый соотношением

$$EQ = AU \cdot U, \quad (16.1)$$

где  $U$  — коэффициент «недружелюбности», мера токсичности.

Шелдон не дает рекомендаций по определению коэффициента «недружелюбности», но эта сложная проблема не прошла незамеченной. Для начала формального исследования такого феномена Swedish Environmental Institute (IVL) и корпорация Volvo разработали аналитический инструмент, определивший систему стратегий экологических приоритетов для проектирования продуктов (*Environmental Priority Strategies*), EPS. Целью системы EPS было позволить конструкторам продуктов выбирать

## 294 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

компоненты и узлы, которые минимизируют воздействие на окружающую среду. Аналитически система EPS достаточно проста, хотя и детализирована. Каждому типу материала, используемому в производстве автомобилей, приписывается экологический индекс. Различные ступени индекса относятся к воздействию этого материала на окружающую среду во время производства продукта, использования и захоронения. Для получения общего индекса материала, выраженного в единицах экологического воздействия (*environmental load units*, ELU) на килограмм используемого материала (ELU/кг), суммируются три компонента стадий жизненного цикла. Однако единицы могут иногда варьировать. Например, индекс для краски, используемой для покраски автомобилей, выражается в ELU/м<sup>2</sup>.

При вычислении компонентов экологического индекса включаются следующие факторы.

*Масштаб* — измерение общего воздействия на окружающую среду.

*Распределение* — размер или состав.

*Частота или интенсивность* — степень воздействия на подвргающейся воздействию территории.

*Длительность* — постоянство воздействия.

*Вклад* — отношение эффекта от 1 кг материала к общему эффекту.

*Восстановливаемость* — стоимость ликвидации воздействия от 1 кг материала.

Эти факторы рассчитываются командой специалистов по охране окружающей среды, экологов и специалистов по материаловедению так, чтобы получить экологические индексы для каждого вида сырья и источника энергии, а также связанных с ними выбросов загрязняющих веществ. Отдельные результаты приводятся в табл. 16.1, некоторые представляют особый интерес. Например, чрезвычайно высокие значения индексов для платины и родия в списке видов материалов — результат больших количеств энергии, затрачиваемой на добычу этих двух металлов. Использованию CFC-11 также присваивается высокий экологический индекс из-за его воздействия на стратосферный озон и глобальное потепление. Наконец, делается предположение, что материалы выбрасываются в мобилизуемой форме. Если вещество выбрасывается в инертной форме, может оказаться необходимым пересмотреть экологический индекс.

Для расчета нагрузки на окружающую среду процессов и конечных продуктов экологические индексы умножаются на объем используемых материалов (рис. 16.1). Обратите внимание: схема включает воздействия добычи материалов, выбросов и производства в течение всего жизненного цикла продукта.

ТАБЛИЦА 16.1 Некоторые экологические индексы, ELU/кг\*

Сырье	Выбросы – воздух	Сбросы – вода	
Co	256	CO <sub>2</sub> 0,108	BOD 0,002
Cr	84,9	CO 0,331	Фосфор 0,055
Fe	0,96	NO <sub>x</sub> 2,13	
Mn	5,64	N <sub>2</sub> O 38,3	
Mo	2120	SO <sub>x</sub> 3,27	
Ni	160	CFC-11 541	
Pb	175	HCFC-22 194	
Pt	7 430 000	CH <sub>4</sub> 2,72	
Rh	4 950 000		
Sn	1190		
V	56		

\* Из компиляции в В. Steen, *A systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 — General System Characteristics*, CPM Report 1995:5, Chalmers University, Göteborg, Sweden, 1999.

В качестве примера использования системы EPS рассмотрим проблему выбора более экологически ответственного материала для использования в производстве передней панели автомобиля. Как показано на рис. 16.2, обычно возможны два варианта: гальванизированная сталь и полимерный композит (матовый термопластик или GMT). Предполагается, что передние панели имеют сопоставимый срок службы, хотя различные сроки службы могут быть включены в EPS.

Основываясь на требуемых количествах каждого материала, для вычисления значений экологической нагрузки на каждом этапе жизненного цикла продукта используют экологические индексы. В табл. 16.2 приведены значения экологической нагрузки ELU общего жизненного цикла для двух передних панелей. Все воздействия на окружающую среду, от энергии, требуемой для производства сырья (материала), до энергии, получаемой от сжигания или повторного использования в конце жизни продукта, включаются в вычисление ELU. В таблице столбцы «кг» — это результаты первого этапа LCA, «ELU/кг» — экологические индексы и «ELU» — результат второго этапа LCA,

296 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

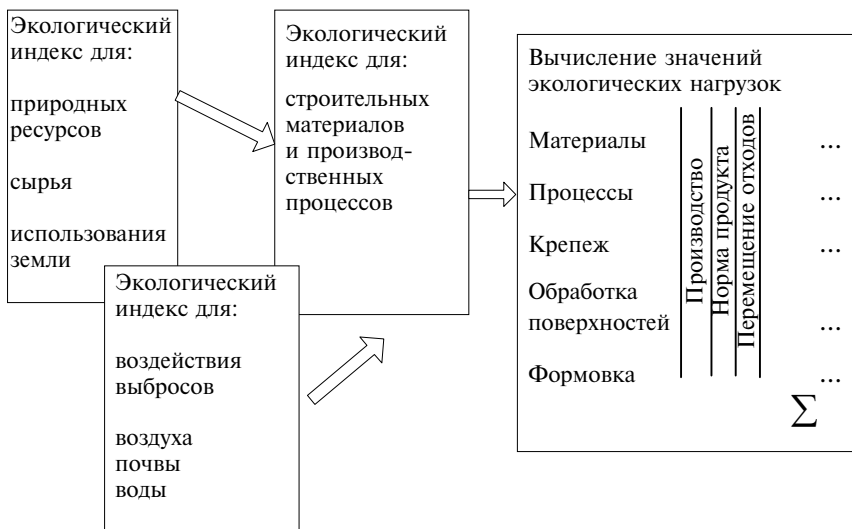
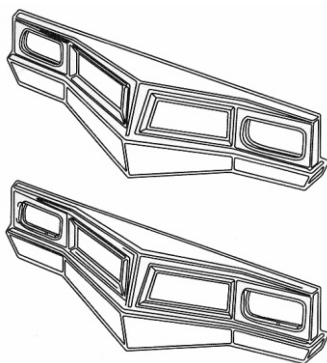


Рис. 16.1

Обзор системы EPS, показывающий, как происходит вычисление суммарной экологической нагрузки (B. Steen, and S. Ryding, *The EPA Enviro-Accounting Method: An Application of Environmental Accounting Principles for Evaluation and Valuation of Environmental Impact in Product Design.*)



**Композит GMT**

Потребление материала 4 кг  
 (0,3 кг лома)  
 Вес детали 3,7 кг

**Гальванизированная сталь**

Потребление материала 9,0 кг  
 (3,0 кг лома)  
 Вес детали 6,0 кг  
 Площадь окрашенной поверхности 0,6 м<sup>2</sup>

Рис. 16.2

Варианты конструкции передней панели автомобиля



## 298 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

рассчитанной по уравнению

$$ELU = \sum_i \sum_s (ELU / \kappa \varepsilon)_i M_{i,s}, \quad (16.2)$$

где  $i$  — тип материала,  $s$  — этап жизненного цикла, а  $M$  — масса материала  $i$  этапа жизненного цикла  $s$ . В этих результатах интерес представляют несколько моментов. Например, стальные продукты во время производства оказывают большее воздействие, но так легко повторно используются, что ELU конца их жизни ниже, чем ELU композита. Однако стальная передняя панель тяжелее композитной, и этот фактор приводит к гораздо большей нагрузке на окружающую среду во время использования продукта. Итоговый результат конструктивно не очевиден: полимерная передняя панель — лучший выбор по воздействию на окружающую среду во время производства, стальная деталь — лучший выбор по рециклируемости, полимерный композит — лучший в итоге выбор по более низкому воздействию во время использования продукта. Попытка принятия решения на основании анализа только части жизненного цикла продукта привела бы к не полностью продуманному и потенциально неправильному решению.

Система EPS, аналогичные методы и программное обеспечение LCA в настоящий момент обновляются и реализуются рядом организаций. Многие из пакетов программного обеспечения включают обширные базы данных и довольно просты в использовании. Возможно, их величайшая слабость заключается в необходимости расчета данных при их неопределенной достоверности и сравнении неодинаковых рисков.

---

### LCA ЖЕНСКОЙ ОБУВИ

Производство кожаной обуви, ее последующее использование и стадии конца жизни образуют основу оценки жизненного цикла, разработанного для демонстрации воздействия различных этапов жизненного цикла на окружающую среду. Большинство процессов, представляющих интерес, относятся к обработке кожи, но также необходимо принимать во внимание ткани и бумагу (рис. 16.3)



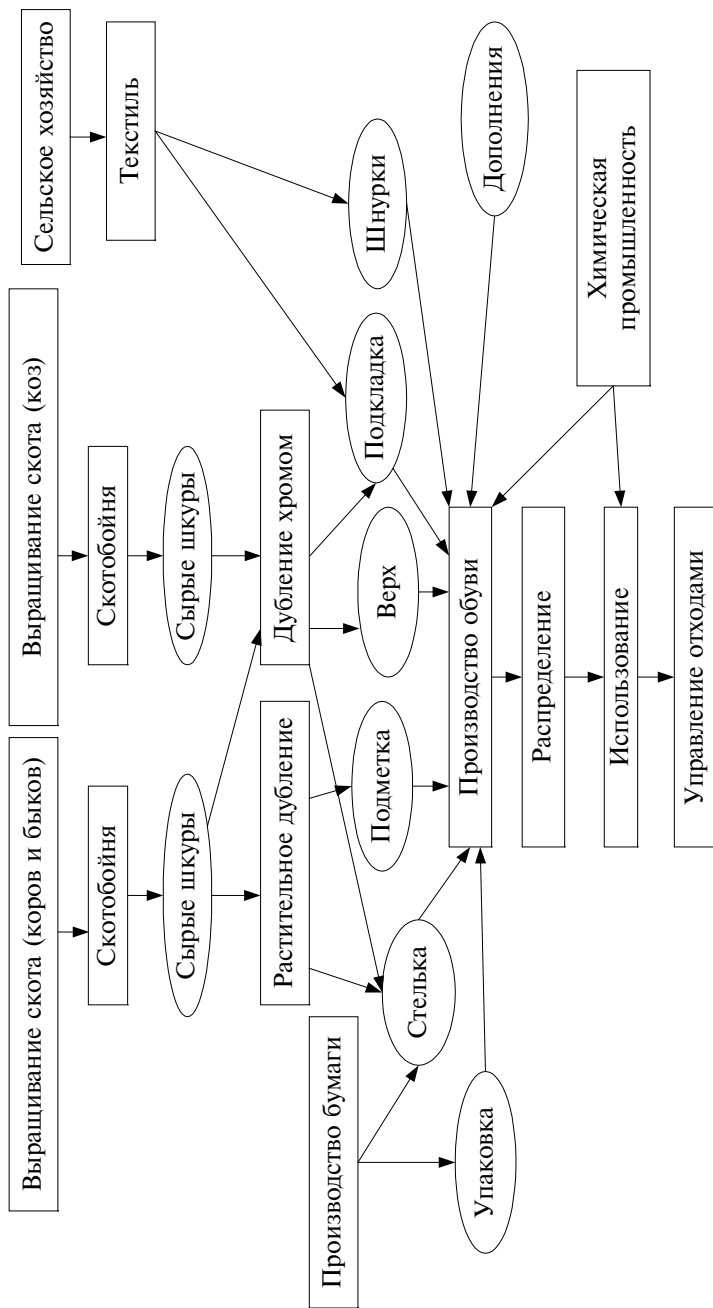
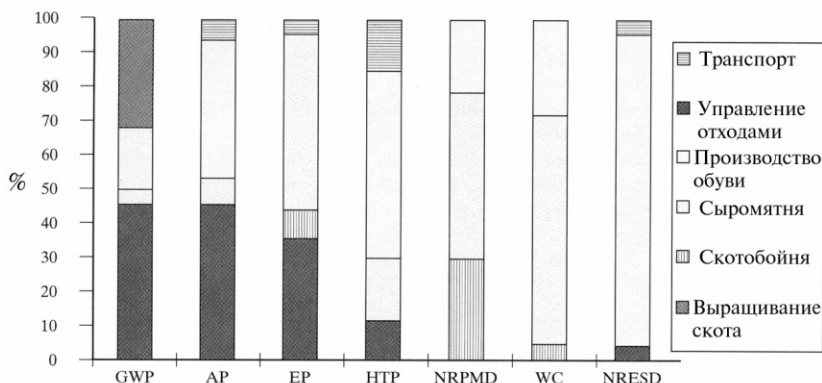


Рис. 16.3  
Диаграмма жизненного цикла производства женской обуви (см. Дополнительное чтение)

### 300 III Проектирование с учетом требований окружающей среды



Воздействие

Рис.16.4

Вклад различных стадий жизненного цикла женской обуви в основные экологические проблемы. GWP — потенциал глобального потепления; AP — загрязнение воздуха; EP — потенциал эвтрофикации; HTP — потенциал токсичности для человека; NRPMD — истощение невозобновимых источников первичных материалов; WC — потребление воды; NRES — истощение невозобновимых источников энергии (см. Дополнительное чтение.)

Стадии жизненного цикла были определены так : (1) выращивание скота, (2) скотобойня, (3) выделывание кож, (4) производство обуви; (5) управление отходами, (6) транспортировка. Мы не будем приводить здесь результаты инвентаризации; они есть в книге, на которую мы ссылаемся ниже. Во время оценки воздействия, однако, были классифицированы параметры входа /выхода и характеризованы их вклады в некоторые виды воздействий. Результаты, выраженные как проценты общих воздействий, показаны на рис. 16.4. Локализация и оценка как часть этого процесса не проводились.

Сельскохозяйственный этап жизненного цикла оказался важным для экологических воздействий, глобального изменения климата, потенциала закисления и потенциала эвтрофикации. По потреблению воды наиболее важен этап дубления. Этап дубления также крайне значим по потенциалу эвтрофикации и истощению невозобновляемых материалов. Производство обуви — это наиболее энергоемкий этап, и его воздействия наиболее существенны из-за связанных с энергией составляющих: загрязнения воздуха, потенциала токсичности для человека, истощения ископаемого топлива. Таким образом, две стадии жизненного цикла, которые не считались особенно значимыми в экологическом плане (сельское хозяйство и производство обуви) были идентифицированы LCA как заслуживающие повышенного внимания. (Под-

робности этого исследования приводятся в Mila et al — см. Дополнительное чтение.)

---

## 16.3 АНАЛИЗ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

### 16.3.1 ЯВНЫЕ И КОСВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Первый шаг по улучшению LCA — использование информации, поступающей с этапов инвентаризации и воздействий, для разработки рекомендаций, относящихся к исследуемой деятельности. Намерение заключается в создании экологических выгод или по крайней мере в минимизации экологических обязательств. В некоторых обстоятельствах этот этап почти тривиален, как в исследовании Volvo по выбору экологически предпочтительной передней панели. В дополнение к очевидной пользе выбора варианта конструкции на экологической основе, однако, исследования LCA часто выявляют более долгосрочные возможности улучшения качества окружающей среды. Исследования Volvo, например, предполагают, что, как только выбирается материал для использования в производстве бамперов, его общая экологическая нагрузка может быть еще больше сокращена с помощью любого или всего из перечисленного ниже.

- сокращения веса композитного бампера, при сохранении необходимых физических характеристик — прочности, особенностей производства и т.д. (принятие этой рекомендации приведет к тестированию альтернативных материалов, альтернативных конструкций или того и другого);
- сокращения относящихся к производству воздействий композитного материала (обращение к этой рекомендации будет включать работу с инженерами-технологами и поставщиками);
- сокращения воздействий, связанных с формовкой под давлением;
- разработки альтернативных материалов на полимерной основе, которые могут быть восстановлены и повторно использованы, а не просто сожжены, когда автомобиль, на который крепится бампер, отправится в металлолом.

## **302** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

На практике маловероятно, что такие потенциальные улучшения, как это, будут рассматриваться только после того, как выбран подход к проектированию и отдельные материалы. Более распространена оценка потенциальных улучшений параллельно с одним из вариантов проекта.

Будучи продуктами более сложными, чем конструкции, такие детали, как автомобильные бамперы и т. п., имеют тенденцию генерировать более длинные списки рекомендаций. Вот, например, извлечения из списка, составленного в результате LCA телекоммуникационного продукта.

### **ПРОИЗВОДСТВО**

- Переписать спецификации оборудования с учетом поощрения или разрешения использования в производстве некоторых рециклированных материалов.
- Проводить работу с поставщиками по минимизации разнообразия упаковочного материала, поступающего на предприятие, чтобы оптимизировать рециклирование твердых отходов.
- Использовать нейтрализаторы азота на оборудовании для волнового припоя в целях сокращения образования окислы припоя.
- Минимизировать разнообразие материалов в упаковке исходящего оборудования и разработать метки для обозначения соответствующих процедур рециклирования для покупателя.
- Разработать пригодные для повторного использования перевозочные контейнеры, которые удовлетворяют критериям физической и электростатической защиты и могут быть рециклируемы.

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

- Заменить использование хрома как защиты металла удаляемым органическим покрытием.
- Пересмотреть спецификации и требования в целях использования как можно меньшего числа различных пластиков и использования термопластов.

- Маркировать все пластиковые детали, используя стандарты ISO.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКТАМИ

- Внедрить пользовательские информационные онлайн-услуги, содержащие не только инструкцию для оператора, но также инструкции по рециклированию деталей, компонентов и упаковки во время жизненного цикла услуг и всего элемента в конце его жизненного цикла.
- Разработать и внедрить стратегию восстановления использованных батарей в рассматриваемой местности.

При разработке списка рекомендаций, основанных на результатах LCA, для оценщика важно включать все детали и рассматривать проблему в широком контексте. Рекомендации, реализация которых впоследствии оказывается невозможной по той или иной причине, будут выявлены и отброшены на этапе определения приоритетности второго вида деятельности в анализе улучшения. Некоторые операции, такие, как маркировка пластиковых деталей, не требуют полного LCA для определения их необходимости, но обычно они по крайней мере подразумевались бы результатами LCA, если бы не потребовались явно. Должны быть рассмотрены как более, так и менее очевидные рекомендации.

Следует отметить, что некоторые рекомендации очень конкретны, например, избегать хромирования, в то время как другие намного более расплывчаты (например, минимизировать разнообразие упаковочных материалов). Важно включать оба этих типа. Очень конкретные рекомендации давать проще, и их результат измеряется гораздо проще. С расплывчатыми рекомендациями иметь дело сложнее, но в некоторых случаях они могут быть очень важны; для улучшения LCA их следует также включать.

### 16.3.2 ТАБЛИЦЫ ПРИОРИТЕТНОСТИ

Экологические характеристики оцениваемого продукта обычно могут быть значительно улучшены использованием ряда реко-

### 304 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

мендаций, сделанных в отчете по оценке. Однако полная реализация может быть невозможной, и в любом случае все рекомендованные действия не могут быть осуществлены одновременно. Поэтому приоритетность полезна. Для определения приоритета рекомендаций следует рассмотреть не только характеристики, связанные с окружающей средой. Некоторые исследователи предложили определять приоритетность рекомендаций LCA на основе полученной экономической выгоды. Однако эта процедура не принимает во внимание того, что промышленное принятие решений включает в себя много факторов помимо экологических. Первая попытка рассмотреть эту ситуацию была сделана как часть голландской программы по «интегрированному менеджменту цепочки веществ», в которой приоритет отдавался рекомендациям, имевшим наиболее благоприятное соотношение выгод и затрат. Но затраты и выгоды были определены для общества в целом, поэтому общую точность метода трудно оценить и применить к промышленному сектору). Помимо этого не рассматривались многие другие факторы, важные для промышленного принятия решения. Поэтому действия, предложенные по окончании LCA, правильно рассматривать как возможные действия, как экологические, так и не экологические.

Один из подходов к приоритетности заключается в отказе от расчета и сортировке рекомендаций, т.е. разделении их на несколько категорий на основе экспертной информации, как это делается в матрицах Пью и Доме качества. Например, можно ранжировать каждую рекомендацию на шкале +/–, считая, что ++ это наиболее желательный, а – наименее желательный вариант по следующим продуктовым ограничениям.

- *Техническая возможность*: оценивает возможность технически реализовать отдельные рекомендации; ++ означает, что рекомендация не представляет технических проблем (сложностей) и, таким образом, легко осуществима.
- *Экологическое улучшение*: оценивает то, в какой степени реализация рекомендаций будет отвечать решению важнейших экологических проблем. При этом ситуация оценивается как на научной, так и на социальной основе; ++ означает, что рекомендация будет сильно поддерживать желательные экологические инициативы.

ТАБЛИЦА 16.3 Таблица приоритетности для рекомендаций DFE

Рекомендации	Этап жизни	Техническая выполнимость	Экологическая чувствительность	Экономическое воздействие	Воздействие CVA	Управление производством	Всего
<i>Производство</i>							
Рециклированный металл	L1.1	++	++	+/-	+	+/-	15
Разнообразие упаковок – входной поток	L2.1	++	+	+/-	+/-	+/-	13
Разнообразие упаковок – выходной поток	L3.1	++	+	+/-	+	+/-	14
Контейнеры после переработки	L3.2	++	+	+/-	+	+/-	15
Плаяная ванна, со-держащая № <sub>2</sub>	L2.2	++	++	-	+/-	-	12
<i>Проектирование</i>							
Избегание цвета	L1.2(S)	+	+	+/-	+/-	+/-	12
Меньшее разнообразие пластика	L5.1	+/-	+	+/-	+	-	11
Маркировка пластико-вых деталей	L5.2	++	++	+/-	+	+/-	15
<i>Менеджмент</i>							
Онлайновая информа-ция	L4.1	++	+	-	+	-	12
Восстановление бага-рей	L4.2	++	++	-	++	+/-	15

Символ	Значение	Оценка
++	Очень хорошо	4
+	Хорошо	3
+/-	Средне	2
-	Плохо	1
--	Очень плохо	0

### 306 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

- *Экономическая выгода*: оценивает чистый финансовый эффект от внедрения определенной рекомендации; ++ означает, что продукт будет стоить меньше, если рекомендация внедряется. Здесь рассматриваются общие издержки жизненного цикла для производителя. Например, некоторые детали могут стоить больше из-за ограничений проектирования с учетом окружающей среды (DfE), но также дадут более высокую остаточную стоимость, когда единица арендуемого оборудования возвращается производителю для рециклирования.
- *Воздействие воспринимаемой покупателем добавленной стоимости*: (*customer — perceived value added, CVA*) принимает во внимание воспринимаемую покупателем добавленную стоимость в результате реализации отдельной рекомендации; ++ означает, что свойство DfE имеет очень высокую воспринимаемую ценность.
- *Управление производством*: оценивает воздействие производственной программы или другого воздействия управления производством в результате осуществления отдельной рекомендации; ++ означает, что принятие рекомендации сократило бы объем времени, необходимый для разработки и/или производства продукта; +/- означает, что это не будет иметь значения.

Пример приоритетности приведенных выше рекомендаций рассматривается в табл. 16.3. Оценщиком LCA были приписаны рейтинги, и затем рекомендации были отсортированы в порядке уменьшающейся общей ценности для производственной организации по каждой из трех категорий: производству, проектированию и менеджменту.

## 16.4 ДИАГРАММЫ ПРИОРИТЕТНОСТИ

### 16.4.1 ДИАГРАММА ПРИОРИТЕТНОСТИ «ДЕЙСТВИЕ—ДЕЯТЕЛЬ»

Хотя таблица приоритетности полезна для разработки дополнительной поддерживающей информации, относящейся к рекомендациям LCA, ее обширность может сделать быстрое извлечение наиболее значимой информации сложным, в особенности



если число рекомендаций больше, чем здесь указано. Альтернативное отображение информации — диаграмма приоритетности (рис. 16.5). На первом шаге построения диаграммы проводится нормализация оценочной суммы из табл. 16.3 — сокращение каждой суммы на 10; смысл заключается в том, что максимальная оценка равна 20, а оценка 10 или ниже отражает нейтральные или негативные общие воздействия и поэтому может рассматриваться как относящаяся к маловыгодной рекомендации. Практический эффект этой корректировки заключается в том, чтобы сделать более простым различие и выбор между наиболее высоко оцениваемыми рекомендациями. Скорректированные суммы приоритетности образуют три группы; каждая представляет рекомендации, которые было бы необходимо реализовать с помощью определенных деятелей: инженеров по производству, инженеров-конструкторов или управленческого персонала.

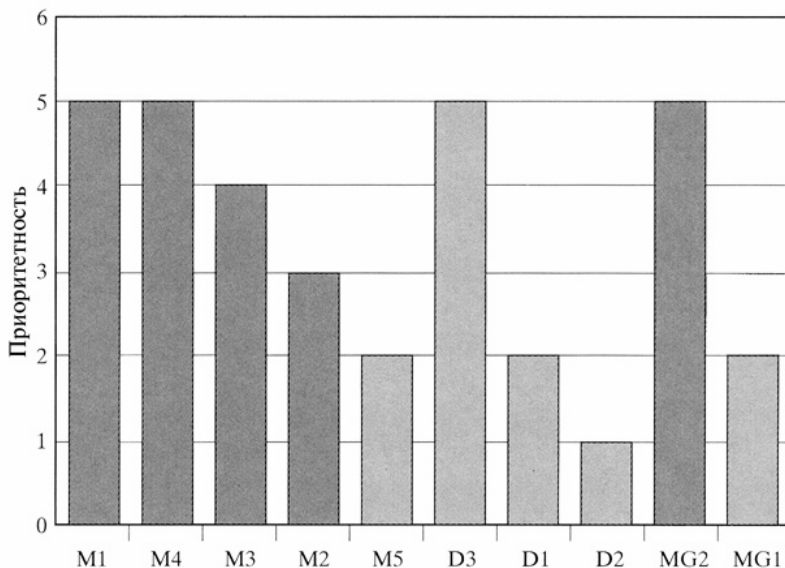


Рис. 16.5

Диаграмма приоритетности рекомендаций модифицированного анализа жизненного цикла телекоммуникационного продукта. Обозначения на оси абсцисс относятся к рекомендациям (в последовательности, заданной табл. 16.3) для производства, проектирования и управления. По оси ординат большие значения соответствуют более высокому приоритету

### 308 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

По рис. 16.5 рекомендации с наивысшим приоритетом легко отличить от рекомендаций с более низким приоритетом. В области производства два действия имеют наивысший приоритет: (1) определение содержания рециклированного материала в основных, металлических деталях и (2) повторное использование контейнеров для перевозки модулей и деталей. Некоторые другие действия, перечисленные в таблице, ранжируются как высокоприоритетные (хотя и не максимально); их осуществление также было бы хорошо обосновано. Экономический эффект для всех этих действий мал или им можно пренебречь. В области проектирования выделяется рекомендация — провести маркировку основных пластиковых деталей символами ISO (как обсуждалось в гл. 14). Для управления также определяется одно приоритетное действие: разработка программы эффективного возврата отработавших батареек.

#### 16.4.2 ДИАГРАММА ПРИОРИТЕТНОСТИ ЭТАПА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Альтернативное отображение приоритета рекомендаций обеспечивается диаграммой этапов жизненного цикла. Как и для диаграммы «действие—деятель», основная информация берется из табл. 16.3 и нормализуется. Затем рекомендации разделяются на пять групп, по одной на каждый этап жизненного цикла: (1) предпроизводственный этап, (2) производитель, (3) доставка продукта, (4) использование продукта и (5) окончание жизненного цикла. Если рекомендация имеет отношение более чем к одному этапу жизненного цикла, она включается в каждую группу жизненного цикла, к которой она относится. На рис. 16.6 показан пример результата для телекоммуникационного продукта.

Диаграмма этапов жизненного цикла дает другую точку зрения на рекомендации, которая изменяется во времени и пространстве, а не среди субъектов деятельности. Экологические аспекты производственного этапа, например, рассматриваются как относительно благоприятные, поскольку приоритеты соответствующих рекомендаций низки. Напротив, этап конца жизненного цикла имеет рекомендацию с более высоким приоритетом.

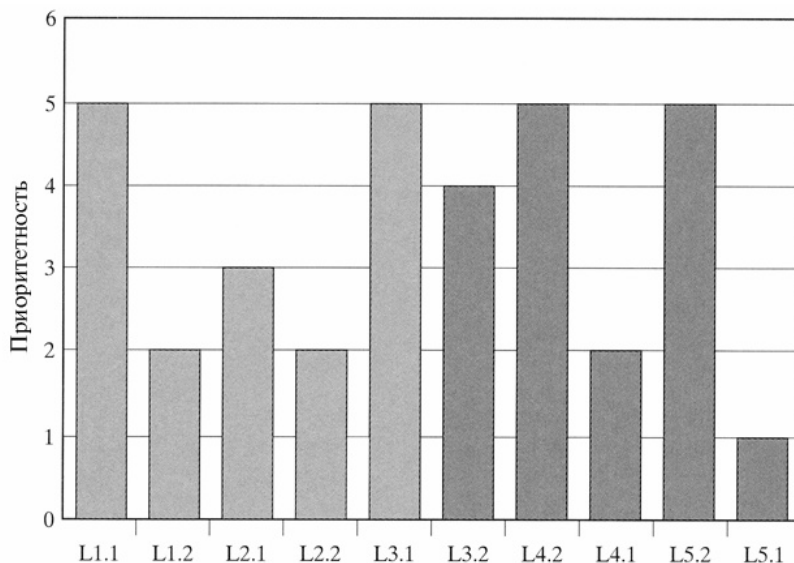


Рис. 16.6

Диаграмма приоритетности стадий жизненного цикла рекомендаций упрощенной оценки жизненного цикла телекоммуникационного продукта. Первый разряд под каждым из прямоугольников относится к этапу жизненного цикла, второй — идентификационный номер рекомендации (табл. 16.3)

Также привлекается внимание к стадии использования продукта. Последние два этапа находятся под прямым контролем проектировщиков продукта. Предпроизводственный этап связан с деятельностью, которая требует участия организации снабжения в работе с поставщиками.

## 16.5 ОБСУЖДЕНИЕ

Существует два типа LCA: ретроспективный и перспективный. Первый осуществляется после проектирования и производства продукта. Его цель — быть инструментом познания для разработки общих более экологических подходов к проектированию. Он наиболее эффективен, когда ожидается, что команда проек-

### 310 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

тировщиков будет рассматривать постепенные изменения проекта в подобных продуктах, так чтобы большая часть обучения с помощью ретроспективного LCA могла быть использована непосредственно. В ретроспективных оценках временные ограничения не играют основной роли.

Перспективные LCA осуществляются как часть процесса проектирования, приводящего к новым продуктам. Цель — определение аспектов проектирования (или альтернативных возможных проектов), которые могли бы быть изменены для улучшения экологических характеристик продукта. Полезность перспективного LCA зависит в большой степени от стадии процесса проектирования, где он может быть применен. Временные ограничения часто жесткие.

Подход к стадии интерпретации LCA состоит в основном из двух частей: (1) выявления множества выводов и/или рекомендаций с ранних этапов LCA и (2) определения приоритетов этих рекомендаций с точки зрения как экологических, так и неэкологических факторов. Как инструменты обобщения результатов используются таблицы и диаграммы.

Определение приоритетов результатов — существенный этап в перспективном LCA. Квантификация не всегда необходима, поскольку идентификация проблем и выработка приблизительного отражения сравнительной важности оказывается более важной, чем точность оценивания. Опыт авторов показывает, что использование в корпорациях таких инструментов, как те, которые были описаны выше, привело к таким экологическим улучшениям продуктов, какие с помощью менее структурированного подхода, вероятно, и не было бы возможно осуществить.

Интересно рассмотреть, как этот процесс улучшения продукта отличается в зависимости от того, используется ли он промышленными фирмами, политическими аналитиками или заинтересованными третьими сторонами. Первый шаг, выявление рекомендаций, может в принципе дать одинаковые результаты; неважно, агентство какого типа проводит оценку. (На практике в той степени, в какой рекомендации имеют дело с производственным процессом или характеристиками продукта, хорошо знакомыми фирмам наиболее полезные рекомендации, возможно, будут приходиться от самих фирм.) Второй этап, определение приоритетно-

сти, по-видимому, гораздо менее единообразен, поскольку он включает информацию по предпочтениям внешних агентов, а также по внутренним и внешним издержкам. Маловероятно, чтобы какая-либо часть этой информации была доступна непромышленным сторонам. С прагматической точки зрения, таким образом, приоритетность, возможно, полезна в основном в рамках организации, чьи операции проходят оценку.

Хотя примеры в этой главе использовали LCA для продуктов, похожие подходы эффективны для процессов, предприятий, отраслей услуг и инфраструктуры. Были построены и в некоторых случаях реализованы диаграммы этапов жизни и упрощенные подходы LCA к этим и другим приложениям.

Не вызывает сомнений, что LCA обычно эффективен при рассмотрении относящихся к окружающей среде вопросов проектировщиков продуктов, процессов или услуг и в отделении более важных из этих вопросов от менее важных. Менее вероятно, что LCA позволит пользователю определенно сказать, что продукт А экологически более предпочтителен чем продукт В, несмотря на удовлетворение Volvo подходом EPS. Наиболее утилитарный способ использования LCA — осуществление ретроспективного анализа для определения подхода к проектированию новых продуктов, процессов или услуг, и затем проведение перспективного LCA для определения и обращения к определенным вариантам проектов, представляющих интерес для охраны окружающей среды. Результат, возможно, неизменно будет более экологически совершенным, чем без применения подхода LCA.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

### *Оценка воздействия*

Barnthouse, L. et al., *Life-Cycle Impact Assessment: The State of the Art*, Pensacola, FL: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1997.

Guinee, J., et al., *Handbook on Life Cycle Assessment—Operational Guide to the ISO Standards*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Schenck, R.C., Land use and biodiversity indicators for life cycle impact assessment, *International Journal of Life Cycle Assessment* 6,114—117, 2001.

Steen, B., *A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000—General System Characteristics*, CPM Report 1999:4, and *A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies*

### 312 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

in *Product Development (EPS). Version 2000—General System Characteristics*, CPM Report 1999:5, Chalmers University, Göteborg, Sweden, 1999.

#### **Оценка и неопределенность**

Ehrenfeld, J., The importance of LCAs—Warts and all, *Journal of Industrial Ecology*, 1 (2), 41—49, 1997.

Field, F.R. III, J.A. Isaacs, and J.P. Clark, Life cycle analysis and its role in product and process development, *International Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing*, 2 (2), 13—20, 1993.

Finnveden, G., Valuation methods within LCA—Where are the values? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2, 163—169, 1997.

Steen, B., On uncertainty and sensitivity of LCA-based priority setting, *Journal of Cleaner Production*, 5, 255—262, 1997.

#### **Изучение ситуаций**

Jönsson, A., T. Björklund, and A.-M. Tillman, LCA of concrete and steel building frames, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 216—224, 1998.

Lippiatt, B.C., and A.S. Boyles, Using BEES to select cost-effective green products, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 76—80, 2001.

Mila, L., X. Domenech, J. Rieradevall, P. Fullana, and R. Puig, Application of life cycle assessment to footwear, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 203—208, 1998.

Rafenberg, C. and E. Mayer, Life cycle analysis of the newspaper Le Monde, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 131—144, 1998.

### **УПРАЖНЕНИЯ**

**16.1** Используя перечень рисков из гл. 3, создайте свой собственный перечень приоритетов рисков. Объясните и защитите свой выбор, в каждом случае разделяя научную и техническую оценку, с одной стороны, и ценности и этические суждения, с другой.

**16.2** (а) Предположите, что наступление глобального потепления считается менее вероятным, чем считалось ранее, и что результат ELU/кг для использования продукта снижен до 0,6. Как это воздействует на сравнительный рейтинг двух передних панелей в рис. 16.2?

(б) Для использования в передних панелях автомобилей рассматривается новая высокопрочная ячеистая сталь. В противоположность стальной передней панели, весящей 6,0 кг, удовлетворительная передняя панель, весящая только 4,0 кг, может быть сформирована из 6,0 кг новой стали. Поскольку улучшенные свойства новой стали, которые обусловлены добав-

ленными легирующими элементами, оказывают пренебрежимо малое воздействие на производство и рециклирование, к этим этапам применимы те же оценки ELU/кг (см. табл. 16.2). Вычислите значения ELU для новой передней панели и сравните их с двумя вариантами в таблице.

- (с) Предположите, что происходит переосмысление глобального потепления, см. п. (а), а также становится доступной новая передняя панель из ячеистой стали. Какое воздействие эти два изменения, взятые вместе, окажут на результаты по относительным воздействиям?

**16.3** Предположите, что дефицит нефти (используемой как сырье для производства пластиковых композитов) стал так велик, что для композитных материалов было принято  $ELU/кг = 1,9$  и что была доступна передняя панель из ячеистой стали.

- (а) Какое воздействие эти два изменения, взятые вместе, оказывают на результаты по относительным воздействиям?
- (b) Какие рекомендации проектировщикам должны использоваться при анализе, указанном выше?

## ГЛАВА 17

# Упрощенный анализ жизненного цикла

### 17.1 НЕПРЕРЫВНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ

Если бы не существовало ограничений по времени, затратам, доступности данных и аналитическим подходам, полный LCA, описанный в главах 15 и 16, дал бы идеальный совет по улучшению экологических показателей. На практике, однако, всегда есть ограничения. Поэтому, хотя были предприняты очень обширные LCA, полный количественный LCA никогда не проводился и вообще маловероятно, что когда-либо будет проведен. Неизбежно возникало много компромиссов, среди которых часто использовали средние, а не определенные локальные значения издержек энергии, ставок платы за захоронение отходов и т.п., исключали анализ катализаторов, добавок и других малых (но потенциально значимых) объемов материалов, пренебрегали капитальным оборудованием, таким, как оборудование химического производства, и неудачно включали материальные потоки и воздействия, относящиеся к операциям по поставке. Поэтому нельзя считать, что детализированный LCA обеспечивает точные количественные результаты, но можно считать, что он обеспечивает рамки, в которых могут разрабатываться более эффективные и полезные методы оценивания.

Вопрос доступности данных, поскольку он относится к разработке продукта и производству, заслуживает дополнительной дискуссии. Эксперты соглашаются в том, что приблизительно 80% экологических издержек продукта определяются на стадии проектирования и что модификации более поздних стадий разработки продукта приведут лишь к весьма умеренным эффектам. Идеальное время для проведения анализа LCA, таким образом, — начало этапа разработки. В этой точке, однако, характеристики продукта имеют тенденцию быть довольно гибкими, материалы могут еще не быть выбраны, не построены производственные мощности, не определен подход к упаковке и т.д. Поэтому часто не существует возможных способов завершить ко-



личественный LCA в нужное время — тогда, когда он будет наиболее полезен.

Полный и подробный LCA

Экологическая защита

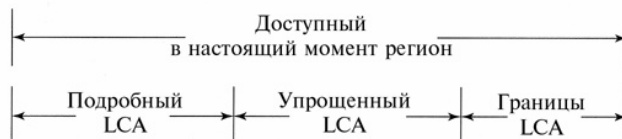


Рис. 17.1  
Диапазон LCA/SLCA

Методы, которые целенаправленно принимают некоторый упрощенный подход к оценке жизненного цикла, называются *упрощенными оценками жизненного цикла (streamlined life-cycle assessment, SLCA)*. Как показано на рис. 17.1, семейство методов оценивания образует континуум усилий, причем степень детализации и затраты обычно уменьшаются по мере движения слева направо. Область *подробного LCA* — это детализированный, количественный LCA, такой, как анализ передней панели IVL/VOLVO, обсуждавшийся в гл. 16. Определение границ (*scoping*) или *экопрофиля (ecoprofile)* — намеренно схематичные области определения того, был ли сделан действительно губительный выбор, или того, необходимо ли дополнительное оценивание. Где-то внутри области SLCA находится идеальная точка — та, где оценка достаточно полна, чтобы быть определенным ориентиром для промышленности и помощью окружающей среде, хотя и не так детализированна, чтобы ее было трудно или невозможно осуществить.

## 17.2 ПЕРСПЕКТИВА СОХРАНЕНИЯ

Если упрощение должно быть универсальной характеристикой процедур LCA, как можно быть уверенным в том, что SLCA не упростила донельзя законности LCA? По результатам опроса,

### 316 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

касающегося методов, которым практики из научных кругов, правительства, промышленности и консалтинговых фирм попытались сократить LCA, Кейт Вейтц (Keith Weitz) из North Carolina's Research Triangle Institute и ее сотрудники определили восемь подходов, обсуждаемых ниже.

1. *Рассмотрение продукта со списком «ненарушений».* Этот подход рассматривает некоторые виды деятельности или альтернативы как настолько очевидно некорректные с экологической точки зрения, что никакой конструкции или плану, к которому они применимы, нельзя развиваться дальше. Примеры «ненарушений»: использование ртутных переключателей в продукте или фреонов в производстве. В то время как список «ненарушений» полезен как инструмент оценки, ограничение оценки до использования такого списка, очевидно, обладает потенциалом предвидения многих этапов жизни и экологических проблем.
2. *Ограничение или исключение этапов жизненного цикла.* Некоторые исследования ограничивают LCA до операций, проводимых на промышленном предприятии. Этот подход «от ворот до ворот» равнозначен предотвращению загрязнения. Достойный похвалы, он все же явно не удовлетворяет критерию рассмотрения всего жизненного цикла. Второй используемый подход заключается в ограничении или исключении только более ранних этапов (добычи ресурсов, например). Этот подход защитить легче, чем «от ворот до ворот», в особенности, если оценивание более ранних этапов ограничивается, а не исключается.
3. *Включение только избранных воздействий на окружающую среду.* Некоторые исследования ограничивают LCA до воздействий наивысшей наблюдаемой важности или тех, которые могут быть легко определены количественно. Такой выбор имеет тенденцию быть подверженным общественному давлению, а не влиянию экологических наук, и быть антропоцентричным, а не сбалансированным.
4. *Включение только избранных параметров.* Это вариация предыдущего подхода, поскольку если только избранные воздействия представляют интерес, будут собираться

только инвентаризационные данные, необходимые для оценки этих воздействий.

5. *Ограничение рассмотрения веществами, превышающими пороговые значения или объемы.* Оценка может ограничиваться только основными компонентами или модулями. Это ограничение рассматривает малые, но сильнодействующие составляющие (метод, например, не подошел бы как инструмент SLCA медицинского радиоскопического оборудования), но может иногда быть оправданно с точки зрения эффективности и отслеживаемости. Очевидно, оно приложимо только к количественным оценкам.
6. *Ограничение или исключение анализа воздействия.* Анализ воздействия — основной компонент анализа жизненного цикла, и исключение явно упрощает процесс. Результат заключается в том, что общее оценивание может полагаться на философию «чем меньше, тем лучше». В то время как использование такого подхода будет, возможно, приводить к некоторым полезным действиям, результат не дает абсолютно никаких связей между базой знаний экологических наук и рекомендациями, предлагаемыми упрощенным LCA.
7. *Использование суррогатных данных.* Иногда можно использовать данные по похожему материалу, модулю или процессу, когда определенные данные, желательные для оценки, недоступны. Использование суррогатных данных часто спорно и имеет те же ограничения полезности, что и количественные данные.
8. *Использование качественной, а не количественной информации.* Количественные данные часто трудно получить или их может даже не существовать. Однако количественные данные часто могут быть достаточны для выявления потенциала воздействий на окружающую среду на различных этапах жизненного цикла. В то же время качественный подход делает сравнение одного продукта с другим или с новой конструкцией сложным или невозможным.

Ниже приведен один из традиционных подходов, не упомянутых К. Вейтц и ее коллегами.

### 318 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

9. *Устранение интерпретаций или рекомендаций.* В некоторых исследованиях результаты инвентаризации и анализа воздействия даются в форме детальных отчетов, а их получатель должен придумывать ответные действия. Однако чтобы SLCA был полезным, необходимы определенные рекомендации команды оценщиков и должен быть разработан метод реализации этих рекомендаций.

## 17.3 МАТРИЦА SLCA

В последние годы был разработан ряд подходов SLCA. Все они используют матричный подход, в котором несколько этапов жизненного цикла оцениваются по их потенциальному воздействию на ряд относящихся к окружающей среде проблем. Идеальная система оценки экологически ответственных продуктов должна обладать следующими характеристиками: она должна быть пригодной для прямых сравнений ранжируемых продуктов; быть используемой и последовательной для различных групп оценщиков; должна охватывать все стадии жизненных циклов продуктов и все соответствующие экологические проблемы и быть достаточно простой для проведения относительно быстрого и недорогого оценивания. Очевидно, она должна в явном виде рассматривать пять этапов жизненного цикла в типичном сложном производственном продукте, как было показано на рис. 8.4.

Рекомендуемая здесь система оценивания была разработана авторами в 1993 г. в AT&T. В качестве центрального элемента она имеет матрицу  $5 \times 5$ , Матрицу оценивания экологически ответственного продукта (*Environmentally Responsible Product Assessment Matrix*). Одно измерение матрицы — этап жизненного цикла, другое — экологические проблемы (табл. 17.1). При ее использовании лицо, проводящее оценивание, изучает проектирование, производство, упаковку, среду использования и вероятный сценарий утилизации и приписывает каждому элементу матрицы соответствующее значение. Не существует причины, по которой значения элементов матрицы должны быть априори непрерывными. Экспертные системы различного рода часто используют данные, которые могут быть двойными (как в системах принятия решений проблема — отсутствие проблемы) или порядковыми (как в системе ранжирования серьезности воздей-

ствия 1—10). В подходе, который мы рекомендуем, лицо, проводящее оценивание, приписывает целочисленное значение от 0 (наивысшее воздействие, худшая оценка) до 4 (минимальное воздействие, лучшая оценка). В сущности лицо, проводящее оценивание, находит значение качества, представляющее оцененный результат более формальных стадий инвентаризационного анализа и анализа воздействий LCA. Оценщик руководствуется в этой задаче своим опытом, опросником по проектированию и производству, соответствующими технологическими картами и другой информацией. Этот процесс намеренно качественный и утилитарный, но он не обеспечивает количественной базы для измерения улучшений.

Хотя приписывание целочисленных значений кажется весьма субъективным, были проведены эксперименты, в которых проводилось сравнительное оценивание продуктов несколькими инженерами производства и специалистами по охране окружающей среды. При обеспечении групп различных оценщиков технологическими картами и другой информацией общие рейтинги продуктов различались менее чем на 15%.

Когда оценивание для каждого элемента матрицы проведено, вычисляется общий рейтинг экологически ответственного продукта (*Environmentally Responsible Product Rating, R<sub>ERP</sub>*) как сумма значений элементов матрицы:

$$R_{ERP} = \sum_i \sum_j M_{i,j} . \quad (17.1)$$

ТАБЛИЦА 17.1 Матрица экологически ответственного оценивания продуктов\*

Этап жизненного цикла	Экологическая проблема				
	Выбор материалов	Используй- вание энергии	Твердые отходы	Жидкие отходы	Газообраз- ные отходы
Добыча ресурсов	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Производство продук- тов	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Доставка продуктов	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Использование про- дуктов	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
Ремонт, рециклирование, утилизация	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5

\*Числовые значения в таблице — индексы элементов матрицы.

## 320 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ТАБЛИЦА 17.2 Проблемы инвентаризации продуктов

Этап жизненного цикла	Экологическая проблема				
	Выбор материалов	Использование энергии	Твердые отходы	Жидкие отходы	Газообразные отходы
Добыча ресурсов	Использование только первичных материалов	Добыча из руды	Производство шлака	Дренаж добычи руды	SO <sub>2</sub> от плавки
Производство продуктов	Использование только первичных материалов	Неэффективные моторы	Утилизация вертикального литника, шлаковика	Токсичные химикаты	Использование CFC
Доставка продуктов	Использование токсичной типографской краски	Потери энергии в упаковке	Пенопластовая упаковка	Использование токсичной краски	Пена CFC
Использование продуктов	Намеренно рассеивающиеся металлы	Нагревание с сопротивлением	Твердые товары потребления	Жидкие товары потребления	Выбросы сгорания
Рециклирование, утилизация	Использование токсичной органики	Потери энергии при рециклировании	Нерециклируемые твердые элементы	Нерециклируемые жидкости	HCl от сжигания

Поскольку имеются 25 элементов матрицы, максимальный рейтинг продукта равен 100.

Проектировщики, которые никогда не проводили аудит продуктов, могут интересоваться уместностью некоторых из пар «этап жизненного цикла — экологическая проблема». Чтобы помочь в этом, в табл. 17.2 приводятся примеры каждого элемента матрицы. Некоторых из этих примеров основаны на том, что производственный процесс ответствен (косвенно, если не прямо) за связанные воздействия переработки сырья, которое используется, и за предполагаемые воздействия, в то время как продукты используются, рециклируются и выбрасываются.

### 17.4 ДИАГРАММЫ-МИШЕНИ

Матричное отображение дает полезное общее оценивание проекта, но более краткое отображение атрибутов проектирования DfE обеспечивается диаграммами-«мишенями» (рис. 17.2). Для удобства ценность каждого элемента матрицы показана под определенным углом. (Для 25-элементной матрицы углы равны

360/25=14,4°.) Удачный продукт или процесс показывается набором точек, сгруппированных ближе к центру, что получилось бы на оружейной мишени, если бы выстрелы были произведены прицельно. Диаграмма упрощает поиск точек, сильно удаленных от «десятки» и отмечает их темы как требующие особого внимания со стороны команды проектировщиков. Кроме того, диаграммы-мишени для альтернативных проектов одного и того же продукта позволяют быстро сравнивать экологическую ответственность. Затем команда проектировщиков продукта может выбрать вариант проекта и справиться в технологических картах и протоколах об информации по улучшению отдельных рейтингов элементов матрицы.

## 17.5 ОЦЕНИВАНИЕ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

Автомобиль и его производство обеспечивают широко известный и хорошо изученный пример того, как SLCA осуществляется на практике. Автомобили оказывают воздействие на окружающую среду как во время производства, так и во время использования в противоположность многим другим продуктам, таким, как мебель или внутреннее оборудование. Самое большое воздействие оказывается сгоранием бензина и выбросами из выхлопной трубы во время цикла движения. Однако существуют и другие аспекты продукта, которые воздействуют на окружающую среду: рассеивающее использование нефти и других смазок, утилизация шин и других износившихся частей и конечная утилизация автомобиля. Для оценки этих факторов были проведены экологически ответственные оценки автомобилей 1950-х и 1990-х годов. Некоторые характеристики автомобилей приведены в табл. 17.3. В целом автомобиль 1950-х годов был значительно тяжелей, менее экономичен, склонен к большему рассеиванию рабочих жидкостей и выхлопных газов и имел детали, например покрышки, которые были менее долговечными.

Предпроизводственный этап, первый этап жизненного цикла, рассматривает воздействие на окружающую среду как последствие действий, необходимых для добычи материалов из их природных источников, транспортировки их на перерабаты-

### 322 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

вающие предприятия, оценивания или разделения их с помощью таких операций, как плавка руды, очистка нефти, и транспортировка ее на производственное предприятие. Там, где детали поступают от внешних поставщиков, этот этап жизненного цикла также включает оценку воздействий, оказываемых при производстве деталей. Рейтинги, приписанные этому этапу жизненного цикла продукта среднестатистических автомобилей каждого периода, приводятся в табл. 17.4, где два числа в скобках соответствуют индексам элементов матрицы. Более высокие (то есть более благоприятные) рейтинги автомобилей 1990 г. в основном обусловлены улучшением экологических аспектов технологии добычи ископаемых и плавки, эффективности используемых машин и оборудования и увеличением доли рециклированного материала.

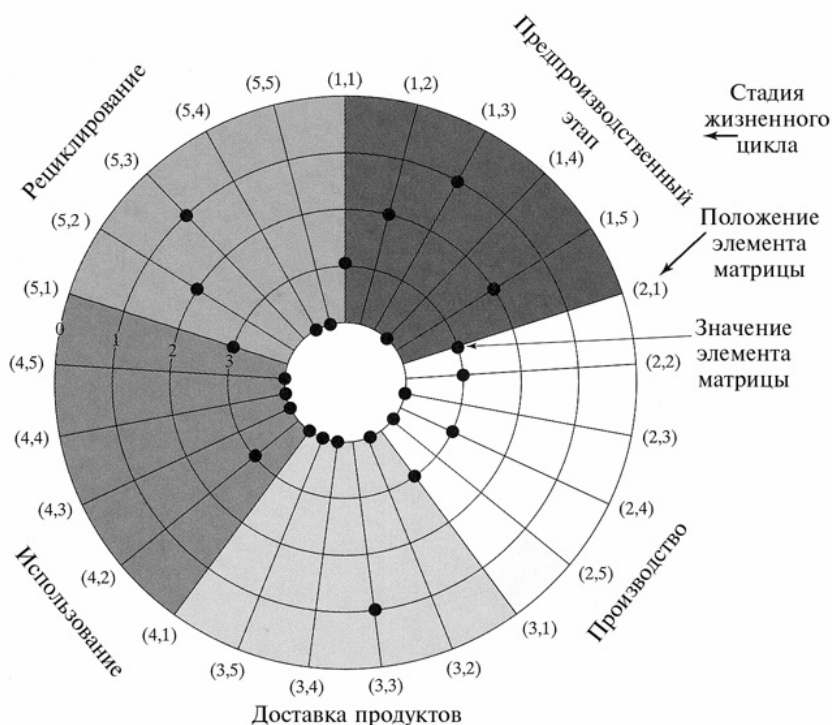


Рис. 17.2

Особенности диаграммы-мишени. Данные приведены для демонстрации и не представляют реального продукта



ТАБЛИЦА 17.3 Характеристики среднестатистических автомобилей

Характеристика	Автомобиль 1950-х годов	Автомобиль 1990-х годов
Материалы, кг	0	101
Пластик	0	68
Алюминий	25	22
Медь	23	15
Цинк	25	10
Железо	220	207
Сталь	1290	793
Стекло	54	38
Резина	85	61
Жидкости	96	81
Другие	83	38
Общий вес, кг	1901	1434
Эффективность топлива, мл/галл	15	27
Катализатор выхлопов	Нет	Есть
Кондиционирование воздуха	CFC-12*	HFC-134a

\*Кондиционирование воздуха появилось на рынке автомобилей в конце 1950-х годов в первоклассных автомобилях. Оценки из *Ward's Automobile Yearbook*.

Второй этап жизненного цикла — это производство продукта (табл. 17.5). Основной процесс производства автомобилей мало изменился за годы, но было сделано многое для улучшения его экологической ответственности. Одна из областей с потенциально высоким воздействием — это красильный цех, где используются различные химические вещества для очистки деталей и образуются летучие органические соединения во время покраски. Теперь уделяется больше внимания переработке и восстановлению стоков красильного цеха, а также переходу на красители с высокой степенью очистки для сокращения объема выбросов. В производстве сейчас существует тенденция лучше утилизировать материалы (частично в результате применения лучших аналитических методов при проектировании деталей) и повторно использовать лом. Наконец, увеличилась производительность всего производственного процесса, причем сейчас для производства каждого автомобиля требуется значительно меньше энергии и времени.

### 324 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

**ТАБЛИЦА 17.4** Рейтинги предпроизводственного этапа

Обозначение элементов	Значение и объяснение
<i>Автомобиль 1950-х годов</i>	
Выбор материалов (1,1)	2 (Используется мало токсичных веществ, но большинство материалов – первичны)
Потребление энергии (1,2)	2 (Перевозка первичного материала энергоемкая)
Твердые отходы (1, 3)	3 (При добыче железной и медной руды образуется значительная масса твердых отходов)
Жидкие отходы (1,4)	3 (При добыче ресурсов образуется умеренное количество жидких отходов)
Газообразные отходы (1,5)	2 (Во время плавки руды образуются значительные объемы газообразных отходов)
<i>Автомобиль 1990-х годов</i>	
Выбор материалов (1,1)	3 (Используется мало токсичных веществ и много рециклированных материалов)
Потребление энергии (1,2)	3 (Перевозка первичного материала энергоемкая)
Твердые отходы (1,3)	3 (При добыче металлов образуются твердые отходы)
Жидкие отходы (1,4)	3 (При добыче ресурсов образуется умеренное количество жидких отходов)
Газообразные отходы (1,5)	3 (Во время переработки руды образуются умеренные объемы газообразных отходов)

**ТАБЛИЦА 17.5** Рейтинги производства продуктов

Обозначение элементов	Значение и объяснение
<i>Автомобиль 1950-х годов</i>	
Выбор материалов (2,1)	0 (Используются CFC для очистки металлических деталей)
Потребление энергии (2,2)	1 (Большое потребление энергии во время производства)
Твердые отходы (2, 3)	2 (Образуется много металлолома и отходов упаковки)
Жидкие отходы (2,4)	2 (Значительные количества жидких отходов от чистки и покраски)
Газообразные отходы (2,5)	1 (Летучие углеводороды выбрасываются в атмосферу цехами покраски)
<i>Автомобиль 1990-х годов</i>	
Выбор материалов (2,1)	3 (Хороший выбор материалов, за исключением отходов свинцового припоя)
Потребление энергии (2,2)	2 (Достаточно высокое потребление энергии во время производства)
Твердые отходы (2,3)	3 (Образуется немного металлолома и отходов упаковки)
Жидкие отходы (2,4)	3 (Немного жидких отходов от чистки и покраски)
Газообразные отходы (2,5)	3 (Выбрасываются малые объемы летучих углеводородов)

Экологические вопросы на третьем этапе жизненного цикла, доставке продукта, включают производство упаковочного материала, его транспортировку на производственное предприятие, отходы, возникающие во время процесса упаковки, транспортировку законченного и упакованного продукта покупателю и (где применимо) установку продукта (табл. 17.6). Этот аспект жизненного цикла автомобиля лучше, чем у подавляющего большинства современных продуктов, поскольку автомобили доставляются с пренебрежимо малым объемом упаковочного материала. Тем не менее некоторая экологическая нагрузка связана с транспортировкой большого, тяжелого продукта. Чуть более высокий рейтинг для автомобиля 1990-х годов в основном обусловлен лучшей конструкцией автоперевозчиков (трейлеров) (больше автомобилей на загрузку) и ростом экономичности транспортеров.

ТАБЛИЦА 17.6 Рейтинги доставки продуктов

Обозначение элементов	Значение и объяснение
<i>Автомобиль 1950-х годов</i>	
Выбор материалов (3,1)	3 (Редкие, рециклируемые материалы, используемые во время упаковки и перевозки)
Использование энергии (3,2)	2 (Перевозка на грузовиках по бездорожью энергоемка)
Твердые отходы (3, 3)	3 (Небольшие количества упаковки во время перевозок могут быть минимизированы)
Жидкие отходы (3,4)	4 (При упаковке и транспортировке образуются пренебрежимо малые объемы жидкостей.)
Газообразные отходы (3,5)	2 (При перевозках образуются значительные потоки парниковых газов)
<i>Автомобиль 1990-х годов</i>	
Выбор материалов (3,1)	3 (Редкие, рециклируемые материалы, используемые во время упаковки и перевозки)
Использование энергии (3,2)	3 (Дальние перевозки по суше и морю энергоемки)
Твердые отходы (3,3)	3 (Небольшие количества упаковки во время перевозок могут быть минимизированы)
Жидкие отходы (3,4)	4 (При упаковке и транспортировке образуются пренебрежимо малые объемы жидкостей)
Газообразные отходы (3,5)	3 (При перевозках образуются умеренные потоки парниковых газов)

### 326 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ТАБЛИЦА 17.7 Рейтинги использования покупателями

Обозначение элементов	Значение и объяснение
<i>Автомобиль 1950-х годов</i>	
Выбор материалов (4,1)	1 (Нефть – ресурс, предложение которого ограничено)
Потребление энергии (4,2)	0 (Потребление энергии ископаемого топлива очень велико)
Твердые отходы (4, 3)	1 (Значительные остатки шин, непригодных или использованных деталей)
Жидкие отходы (4,4)	1 (Системы жидкостей имеют течи)
Газообразные отходы (4,5)	0 (Отсутствие очистки выходящих газов; большие выбросы)
<i>Автомобиль 1990-х годов</i>	
Выбор материалов (4,1)	1 (Нефть – ресурс, предложение которого ограничено)
Потребление энергии (4,2)	2 (Большое потребление энергии ископаемого топлива)
Твердые отходы (4,3)	2 (Умеренные остатки шин, непригодных или использованных деталей)
Жидкие отходы (4,4)	3 (Системы жидкостей иногда разрушаются)
Газообразные отходы (4,5)	3 (СО <sub>2</sub> , свинец (в некоторых местах))

Четвертый этап жизни — использование продукта, включает воздействие товаров потребления (если они существуют) или обслуживающих материалов (если они есть), которые тратятся во время использования автомобиля (табл. 17.7). Значительный прогресс был достигнут в повышении эффективности и надежности автомобиля, но использование автомобиля продолжает оказывать очень сильное отрицательное воздействие на окружающую среду. Увеличение экономичности и более эффективное кондиционирование выхлопных газов объясняют то, что автомобили 1990-х годов получили высокие рейтинги, но несомненно все еще существует потенциал для улучшения.

Пятый этап оценки жизненного цикла включает воздействия, возникающие во время ремонта продукта и при окончательном выбрасывании модулей или деталей, рециклирование которых считается невозможным или слишком дорогим (табл. 17.8). Большинство современных автомобилей рециклируются (около 95% выбрасываемых автомобилей в большинстве стран попадают в поток рециклируемых), из них около 75% по весу восстанавливаются в виде использованных деталей или возвращаются на рынок вторичных металлов. Совершенствование технологии восстановления упростило и сделало более выгодным разделение материалов автомобиля на составляющие.

В противоположность 1950-м годам по крайней мере два аспекта дизайна и конструкции современного автомобиля стали хуже

с точки зрения их экологических последствий. Один — это увеличившееся разнообразие используемых материалов, в основном пластиков. Второй аспект — увеличившееся применение сварки в производственном процессе. В автомобилях 1950-х годов использовалась конструкция крепления корпуса на раме. Позднее она была сменена конструкцией с единым корпусом, в которой панели корпуса связаны с шасси. Конструкция с единым корпусом требует примерно в 4 раза больше сварки, чем конструкция «корпус на раме», плюс существенно возросло использование клея. В результате автомобиль стал крепче, безопаснее, в нем используется меньше структурного материала, но его гораздо труднее разбирать.

ТАБЛИЦА 17.8 Рейтинг ремонта — рециклирования — утилизации

Обозначение элементов	Значение и объяснение
<i>Автомобиль 1950-х годов</i>	
Выбор материалов (5,1)	3 (Большинство используемых материалов рециклируемы)
Потребление энергии (5,2)	2 (Умеренное потребление энергии на демонтаж и рециклирование материалов)
Твердые отходы (5,3)	2 (Ряд компонентов сложно рециклировать)
Жидкие отходы (5,4)	3 (Жидкие остатки рециклирования минимальны)
Газообразные отходы (5,5)	1 (Рециклирование обычно включает открытое сжигание остатков)
<i>Автомобиль 1990-х годов</i>	
Выбор материалов (5,1)	3 (Большинство материалов рециклируемо, но азид натрия представляет проблему)
Потребление энергии (5,2)	2 (Умеренное потребление энергии на демонтаж и рециклирование материалов)
Твердые отходы (5,3)	3 (Некоторые компоненты сложно рециклировать)
Жидкие отходы (5,4)	3 (Жидкие отходы рециклирования минимальны)
Газообразные отходы (5,5)	2 (Рециклирование включает открытое сжигание отходов в некоторых количествах)

Заполненные матрицы для среднестатистического автомобиля 1950-х и 1990-х годов приведены в табл. 17.9. Рассмотрим вначале значения для автомобиля 1950-х годов настолько, насколько затронуты этапы жизненного цикла продукта. Правая колонка таблицы показывает умеренное экологическое управление во время добычи ресурсов, упаковки и перевозки и ремонта — рециклирования — захоронения. Рейтинги этапа производства низки, а этапа использования потребителем низки чрезвычайно. Общий рейтинг 46 гораздо ниже, чем можно пожелать. В противоположность этому общий рейтинг 68 для автомобилей 1990-х годов гораздо лучше, но по-прежнему остается перспектива для улучшения. Более сжато элементы проектирования DfE даны на рис. 17.3.

**328** III Проектирование с учетом требований окружающей среды

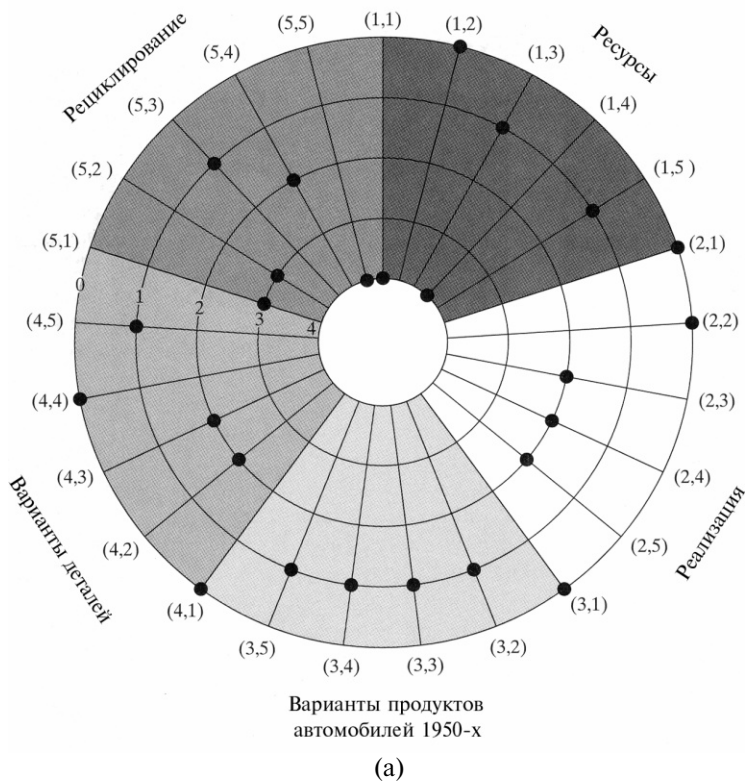
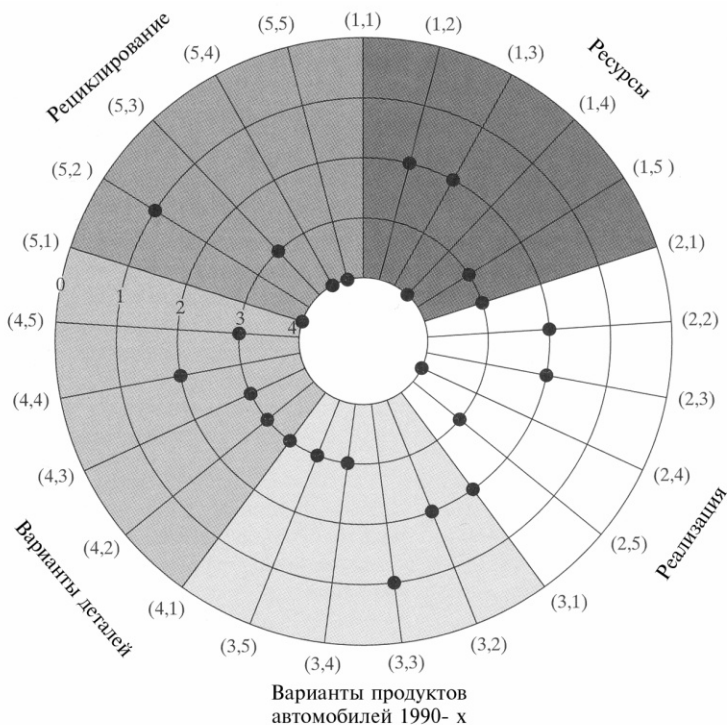


Рис. 17.3

Сравнительные диаграммы-мишени экологических воздействий среднестатистического автомобиля 1950-х (а) и 1990-х (б) годов

**ТАБЛИЦА 17.9** Экологически ответственная оценка продукта для среднестатистических автомобилей 1950-х и 1990-х годов

Этап жизненного цикла	Экологическая проблема					Итого
	Выбор материалов	Использование энергии	Твердые отходы	Жидкие отходы	Газообразные отходы	
Добыча ресурсов						
1950-е	2	2	3	3	2	12/20
1990-е	3	3	3	3	3	15/20
Производство продуктов						
1950-е	0	1	2	2	1	6/20
1990-е	3	2	3	3	3	14/20
Доставка продуктов						
1950-е	3	2	3	4	2	14/20
1990-е	3	3	3	4	3	16/20



(b)

Продолжение табл. 17.9

Этап жизненного цикла	Экологическая проблема					Итого
	Выбор материалов	Использование энергии	Твердые отходы	Жидкие отходы	Газообразные отходы	
Использование продуктов 1950-е						
1990-е	1	0	1	1	0	3/20
Ремонт, рециклирование, утилизация 1950-е	1	2	2	3	2	10/20
1990-е	3	2	2	3	1	11/20
Итого 1950-е	3	2	3	3	2	13/20
1990-е	9/20	7/20	11/20	13/20	6/20	46/100
Итого	13/20	12/20	14/20	16/20	16/20	68/100

### 330 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

#### 17.6 АКТИВЫ И ОБЯЗАТЕЛЬСТВА SLCA

Как было сказано выше, когда концепция LCA некоторым образом упрощается, можно подумать, что пропадает часть законности всестороннего LCA. Что это, то что действительно потеряно? Или, наоборот, каковы выигрыши? Можно привести и обсуждать и то и то. SLCA потенциально превосходят LCA по следующим причинам.

- SLCA гораздо более эффективен и менее затратен, обычно требуя нескольких дней усилий, а не нескольких месяцев.
- SLCA дополняют LCA оценением атрибутов проекта, например легкости разборки, которые по сути качественны.
- Многие SLCA могут использоваться на ранних этапах проектирования, когда велики возможности для изменений, но количественная информация дефицитна.

Из-за оговоренных выше атрибутов гораздо более вероятно, что SLCA будет проводиться рутинно и, таким образом, прилагаться к широкому разнообразию продуктов и видов производственной деятельности.

SLCA потенциально проигрывают LCA по следующим причинам.

- SLCA плохо способен или вообще не способен отслеживать общие материальные потоки. Например, в рамках корпорации SLCA по всем продуктам должен хорошо отражать, был ли вообще использован определенный материал, но не был ли он использован в отдельном продукте, представляющем значительную долю общего использования корпорацией.
- SLCA имеет минимальную способность сравнивать полностью непохожие подходы к удовлетворению потребностей.
- SLCA имеет минимальную способность отслеживать улучшения с течением времени, напрямую надежно определять, превосходит ли продукт своего предшественника в экологическом плане.



## 17.7 ОБСУЖДЕНИЕ

Системы модифицированной оценки продуктов могут быть легко адаптированы к производству ряда продуктов. Когда продукт одной корпорации служит источником сырья другой корпорации, как, например, пластиковые шарики, в конечном счете используемые для автомобильных корпусных панелей, оценивание, вероятно, проводилось на межкорпоративной основе.

В отличие от классического инвентаризационного анализа и, возможно, анализа воздействия упрощенная оценка жизненного цикла меньше связана с расчетами и менее строга. Она также неопределимо более практична и утилитарна: гораздо лучше провести ряд упрощенных LCA, чем один или два всесторонних LCA. Это особенно верно, поскольку LCA и SLCA примерно одинаково успешны в определении действий, способных улучшить экологические характеристики, поскольку альтернативы для проектировщиков обычно ограничены и результаты полномасштабного LCA остаются спорными. Опрос по умеренно глубокому SLCA, предложенному здесь, проведенный объективным профессионалом или многофункциональной группой профессионалов, даст 80—90% возможных полезных действий в области проектирования и выявит их на ранних этапах проектирования, затрачивая при этом относительно мало времени и денег. Есть хорошие шансы, что такая оценка будет выполнена, а ее рекомендации будут внедрены.

Перспектива по активам и обязательствам SLCA возвращается к исходному утверждению, приведенному выше, что полный LCA никогда не проводился и, возможно, никогда не будет проводиться. Кажется разумным продолжать использовать SLCA, осознавая его ограничения. Результаты SLCA часто рассматриваются как приблизительно верные; если они подходят

### 332 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

даже ближе к этому описанию, выполнение оценки и внедрение ее рекомендаций будут представлять большую ценность.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Field F., J. Ehrenfeld, D. Roos, and J. Clark, *Automobile Recycling Policy: Findings and Recommendations*, prepared for the Automotive Industry Board of Governors, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, February, 1994.

Graedel, T.E., B. Allenby, and P. Comrie, Matrix approaches to abridged life cycle assessment, *Environmental Science & Technology*, 29,134A-139A, 1995.

Henstock, M.E., *Design for Recyclability*, London: The Institute of Metals, 1988.

Hunt, R.G., T.K. Boguski, K. Weitz, and A. Sharma, Case studies examining LCA streamlining techniques, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 36–42, 1998.

Noyes, R., ed., *Pollution Prevention Technology Handbook*, Park Ridge, NJ: Noyes, 1993. Weitz, K.A., M. Malkin, and J.N. Baskir, *Streamlining Life-Cycle Assessment: Conference and Workshop Summary Report*, Research Triangle Park, NC: Research Triangle Institute, 1995.

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, *Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment*. Report OTA-E-541, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1992.

#### УПРАЖНЕНИЯ

17.1 Была подготовлена инвентаризация продуктов для двух разных проектов высокоскоростного агрегата. Матрицы воспроизводятся внизу, цифра слева в каждом элементе матрицы относится к проекту 1, справа — проекту 2. Выберите лучший продукт с точки зрения DfE. Какие особенности каждого проекта вы бы рассматривали, если бы были необходимы улучшения?

Этап жизненного цикла	Выбор материала	Потребление энергии	Твердые отходы	Жидкие отходы	Газообразные отходы
Производство продукта	1/1	4/3	4/3	2/2	3/2
Материал	2/1	1/2	1/2	2/1	2/4
Доставка продукта	3/2	1/1	2/3	1/1	1/1
Использование продукта	1/2	1/2	1/3	1/1	1/3
Рециклирование, утилизация	2/1	2/2	2/1	1/2	1/2

**17.2** Выберите продукт умеренной сложности: тостер, настольный телефон или проектор. Проведите SLCA для этого продукта. Подготовьте отчет, который резюмирует ваши результаты, прокомментируйте, где было трудно приписать рейтинги из-за отсутствия информации, и предложите изменения конструкции, которые улучшили бы экологическую ответственность продукта.

## **Г Л А В А 18**

# **Использование инструментов корпоративной промышленной экологии**

### **18.1 ЭТАПЫ И ШКАЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ**

Деятельность промышленности, имеющая в своем фокусе экологические проблемы, покрывает очень широкий диапазон временных шкал и организационных единиц. На рис. 18.1 показано размещение обычных видов деятельности во временном и организационном пространствах. В самом низу, в области производства, достаточны действия по предотвращению загрязнения. Подходы к экологической технологии имеют дело с проблемами, которых невозможно полностью избежать предотвращением загрязнения. Рассмотрение всего жизненного цикла проекта приводит в действие подходы с более широкими перспективами: проектирование для окружающей среды и производство для окружающей среды. Когда рассматривается вся технологическая система, требуется полный масштаб промышленной экологии. Наибольшие шкалы — всего общества и периода цивилизации, требуют рассмотрения концепции устойчивого развития. Границы между этими концепциями размыты, определения подходов перекрывают друг друга, но рис. 18.1 полезен при аппроксимации их масштаба и фокуса.

### **18.2 ПЕРВЫЙ ЭТАП: СООТВЕТСТВИЕ РЕГУЛИРОВАНИЮ**

Для большинства корпораций экологическое мышление началось с принятия правил, требующих определенного уровня экологических характеристик. Выполнение предписаний, имеющих отношение к ведению бизнеса — финансовых, касающихся безопасности работников, ответственности перед покупателями, необходимо.

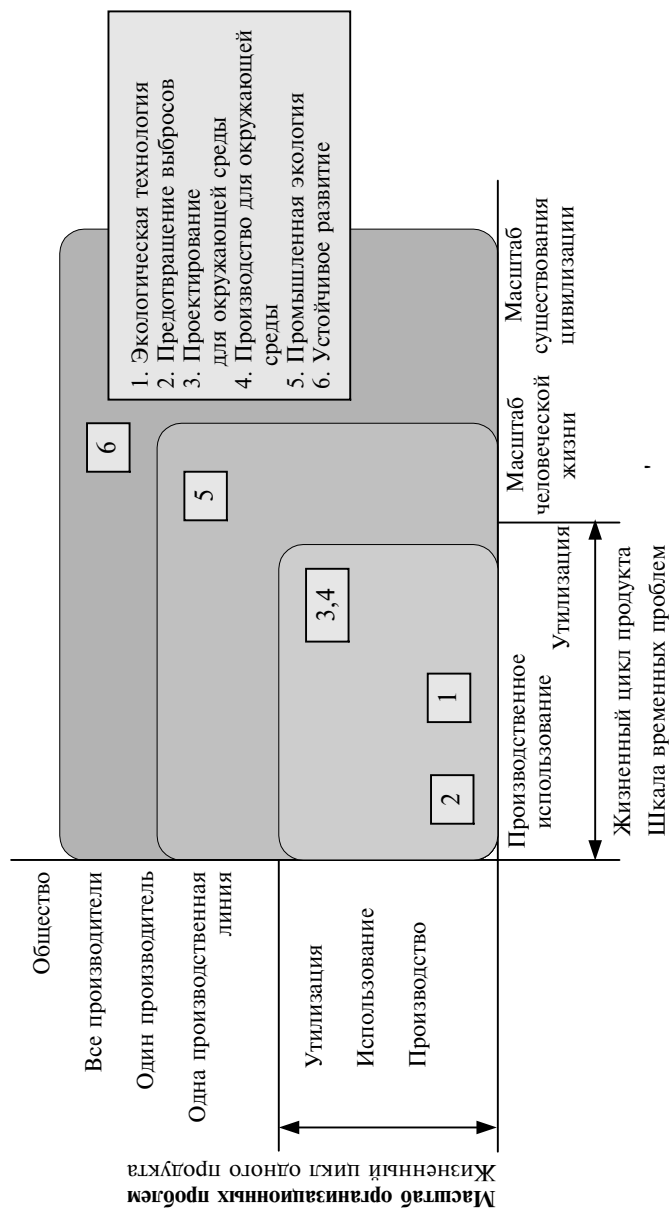


Рис. 18.1

Организационные и временные шкалы подходов к промышленному экологическому менеджменту (Адаптировано из В. Bras, Incorporating environmental issues in product realization, *United Nations Industry and Environment*, 20 (1—2), 7—13, 1997.)

### 336 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

В области охраны окружающей среды большинство предприятий связаны со здоровьем людей и допустимыми уровнями выбросов в воздух, воду и почву.

Добросовестный бизнес подходит к соответствию предписаниям проведением инвентаризации его текущих и предполагаемых выбросов и мониторинга любых других видов деятельности, связанных с локальным, региональным или национальным регулированием. Это поддерживается программой аудитов соответствия предписаниям, в которой уровни выбросов и корпоративный статус других соответствующих видов деятельности сравниваются с предписаниями, чтобы гарантировать отсутствие нарушений или невозможность возникновения нарушений в будущем. При создании корпоративного экологического превосходства, соответствие предписаниям — первый шаг.

## 18.3 ВТОРОЙ ЭТАП: ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Предотвращение загрязнения связано с пересмотром текущих продуктов и процессов и минимизацией их воздействия на окружающую среду, в основном через простые, прямые подходы: например лучшее ведение хозяйства и замену материалов. Типичный срок действий по предотвращению загрязнений и их влияния — это год или два. Типичные действия включают предотвращение утечек, сохранение энергии и улучшение упаковки. Не предпринимается никаких значительных изменений по отношению к продуктам или процессам, но, скорее, оптимизируется способ, которым они производятся. Почти по определению, предотвращение загрязнения рассматривается только в отношении видов деятельности за заводскими воротами.

Как сказано в гл. 9,  $P^2$  обычно начинается с создания одной или нескольких потоковых диаграмм характеристик процессов. Как только определена схема потоков ресурсов на предприятии, используются материальные балансы, чтобы проследить размещение основных затрат, выпусков и потерь для выбранных материалов. Для улучшений в масштабе предприятия можно проводить аудит отходов, потребления энергии и воды, и результаты аудита использовать для дальнейшего принятия решений.

Действия  $P^2$  обычно не санкционируются регулирующими органами или покупателями. Напротив, они осуществляются, поскольку они финансово выгодны, а также дают хорошую общую практику.  $P^2$  — это просто ведение «домашнего хозяйства», поднятое на высший уровень.

## **18.4 ТРЕТИЙ ЭТАП: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Проектирование для окружающей среды — это процесс, в котором полный спектр экологических проблем принимается во внимание как обычный этап разработки продукта или процесса. Его компоненты, описанные в предыдущих главах, обычно не требуют регулирования и могут или не могут обеспечивать финансовые стимулы для  $P^2$ . Однако все чаще покупатели требуют более экологичных продуктов. DfE — это структура проектирования и разработки, которая обеспечивает доступ к этим рынкам.

Простейший инструмент DfE — это список «ненарушений», используемый на ранних этапах процесса проектирования для избежания недопустимых выборов на уровне деталей, материалов или систем. Руководства по проектированию также могут помочь проектировщику избежать чужих ошибок и передавать лучшие практические подходы. Следующий простейший инструмент — технологическая карта экологических особенностей, которая подсказывает проектировщику подходы, способные сделать продукт более экологически ответственным. Как только разработка продукта завершена или почти завершена для проведения общих оценок проекта, обычные и упрощенные оценки жизненного цикла можно использовать, имея в виду выбор экологически превосходящих продуктов.

### **Принципы экологически совершенного проектирования продуктов**

Для обеспечения общего руководства DfE был подготовлен ряд технологических карт с экологическими характеристиками.

### 338 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Вот одна из лучших.

- Сделайте продукт долговечным
- Сделайте так, чтобы его было просто чинить
- Разработайте его так, чтобы его можно было переработать
- Разработайте его так, чтобы его можно было использовать повторно
- Используйте для его производства рециклированные материалы
- Используйте рециклируемые материалы повсеместно
- Упростите процесс отделения рециклируемых компонентов продукта от нерециклируемых
- Исключите токсичные и проблематичные компоненты продукта или сделайте так, чтобы их было легко заменять или удалять перед утилизацией
- Сделайте продукты менее энерго- и ресурсоемкими
- Сделайте так, чтобы продукты можно было производить, используя экологически более предпочтительные процессы
- Разрабатывайте продукты, сокращающие необходимость в последующих отходах
- Корректируйте конструкцию продукта, чтобы сократить использование упаковки

Адаптировано по P. Kaldjian, Ecological design: Source reduction, recycling, and the LCA, *Innovation*, 11—13, Special Issue, 1992.

## 18.5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ У ВОРОТ PRP

В главе 8 мы представили концепцию процесса реализации продукта (PRP) и «ворот», которые должны быть успешно пройдены, если продукт должен быть одобрен для производства и продажи. Экологические вопросы часто упускались в обзорах у ворот, в основном потому, что инструменты не были формализованы для привнесения экологической информации в процесс. Необходимая информация, таким образом, отсутствует, даже если и доступна внутри корпорации. Однако нужная экологическая информация может в принципе быть предоставлена у каждого ворот, если практикуется разделение знаний. И если эта информация представляет часть решения у ворот, общий результат, возможно, будет лучшим.



Для иллюстрации в табл. 18.1 приведена информация о продуктах и процессах, доступная у каждого ворот для типичного производимого продукта. Элементы этой таблицы служат ориентиром в том, какую экологическую информацию можно получить во время оценки у каждого ворот.

**Ворота 1: От концепции к предварительному проекту.** Вопросы, относящиеся к охране окружающей среды, у первых ворот относятся к основным и предназначены для отклонения концепций продукта, которые включают нежелательные экологические характеристики. Типичные вопросы на этом этапе: входят ли запрещенные вещества в продукт? будут ли запрещенные или опасные вещества требоваться в производстве? Табл. 18.1 показывает, что эти вопросы могут быть рассмотрены у ворот 1 только для основных материалов и процессов.

Соответствующий экологический инструмент в воротах 1, таким образом, — это список «ненарушений»: свойств продуктов или процессов, которые корпорацией не будут разрешены. Типичный список для производства высокотехнологичных продуктов, составленный из списков нескольких корпораций, дается в табл. 18.2. Можно ожидать, что каждая корпорация будет иметь свой собственный список «ненарушений», запрещающий или отклоняющий использование не только незаконных материалов, процессов или методов, но также тех, что включают потенциальные обязательства, которые корпорация не приняла бы, даже если бы текущее регулирование не представляло проблемы.

**Ворота 2: от предварительного проектирования к детальному.** Ворота 2 (и последующие ворота) позволяют по-новому взглянуть на список «ненарушений» табл. 18.2, поскольку некоторые проблемы в этом списке, относящиеся к окружающей среде, которые нельзя было рассмотреть у ворот 1, теперь можно пересмотреть. Доступность достаточно полного проекта на этом этапе позволяет также использовать дополнительные инструменты и подходы, связанные с охраной окружающей среды. Поэтому новая деятельность у ворот 2 — это обзор экологических аспектов проектируемых процессов и продуктов и руководства, которое обеспечивает корпорация. Это руководство иногда бывает неформальным, и тогда трудно оценить соответствие оценке у

### 340 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

ворот. Однако некоторые корпорации систематизировали этот процесс. Lucent Technologies, например, опубликовала внутренний «Справочник проектировщика» (Designers Companion), который представляет собой примеры удачных и неудачных с экологической точки зрения проектов из прошлого и руководство по осуществлению удачных проектов и избеганию неудачных. Результат — руководство по предпочтениям в области проектирования, которое может быть пересмотрено как часть процесса одобрения у ворот 2.

ТАБЛИЦА 18.1 Информация, известная у ворот разработки продукта

Продукт	Процесс
<i>Ворота 1</i>	
Основные материалы	Ключевые производственные процессы (с технологией и химикатами)
Критические электрические характеристики	
Критические механические характеристики	
Размер	
<i>Ворота 2</i>	
Основные детали	Основные производственные процессы (с технологией и химикатами)
Предварительное проектирование электрического оборудования	
Предварительное проектирование механического оборудования	
Предварительное проектирование внешнего вида	
<i>Ворота 3</i>	
Все детали	Все производственные процессы (с технологией и химикатами)
Окончательное проектирование электрического оборудования	
Окончательное проектирование механического оборудования	Потребление энергии процессами
Окончательное проектирование внешнего вида	
Разработка формы	
<i>Ворота 4</i>	
Окончательный список материалов	Все потоки побочных продуктов
Рециклируемость	Все потоки отходов
Упаковка	Взаимодействия с внешними поставщиками
<i>Ворота 5</i>	
Маркетинг	Поставка

**Ворота 3: От детального проектирования к разработке.** Экологическая информация в воротах 3 может быть получена из детализированных руководств и технологических карт. В табл. 18.3 приведены извлечения из такой технологической карты. В ряде корпораций эти инструменты теперь доступны как часть процесса проектирования с помощью компьютера (*computer-aided design, CAD*), который автоматически изменяет их как часть деятельности по разработке продукта проектировщиком. Обзор ворот 3, таким образом, может оценить степень, до которой конструкция продукта включает рекомендованные технологическими картами свойства. У этих ворот достаточно доступной информации для того, чтобы разрешить проведение полуколичественной или упрощенной оценки жизненного цикла (SLCA). В такой оценке весь спектр потенциальных экологических воздействий оценивается для каждого этапа жизненного цикла продукта. Комбинация технологических карт и SLCA позволяет корректировать экологически неблагоприятные свойства до того, как окончательно завершается проектирование продукта.

---

ТАБЛИЦА 18.2 Типичные экологические «нарушения» процесса и продукта

---

«Нарушения» ворот 1

---

- Хлорфторуглероды и галогенсодержащие углеводороды, использование которых ограничено Монреальским протоколом, не могут использоваться ни в одном производственном процессе
  - Радиоактивные вещества не могут использоваться ни в одном продукте
- 

«Нарушения» ворот 2

---

- Ртутные реле не могут быть использованы ни в одном производственном процессе
  - Пластик не должен содержать добавок (красителей, стабилизаторов и т.д.), содержащих Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se
- 

«Нарушения» ворот 3

---

- Ни в каком продукте не могут быть использованы металлические детали с кадмиевым покрытием
  - Пластиковые детали не могут быть использованы без соответствующего символа Международной организации по стандартизации (IOS)
  - Пластик не может содержать замедлители горения – полибромиды
- 

«Нарушения» ворот 4

---

- Для всех упаковочных материалов и инструкций-вкладышей должны использоваться рециклированные ресурсы
- 

«Нарушения» ворот 5

---

- В рекламе продуктов не может быть сказано, что их экологические характеристики лучше, чем у продуктов-конкурентов, но их положительные экологические характеристики должны быть указаны
-

### 342 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

**Ворота 4: От разработки к производству.** Поскольку информация о продуктах и процессах теперь окончательно определена, можно провести либо расширенный SLCA, либо полную и всестороннюю оценку жизненного цикла. Большинство вопросов, имеющих значение в связи с охраной окружающей среды, были выявлены к воротам 4, но последствия доставки продуктов могут быть детально рассмотрены впервые, и общие результаты можно дать в количественном виде.

**Ворота 5: От производства к продажам и использованию** С точки зрения окружающей среды в воротах 5 следует задавать вопросы: были ли экологические вопросы рассмотрены у предыдущих ворот? будут ли доставка продуктов и деятельность в области маркетинга удовлетворять экологическим целям? Нужно ли создавать условия для деятельности в конце жизненного цикла: возврата продукта или рециклирования батареек? Как только начинается производственный процесс, даже на стадии пилотного завода, можно начинать аудит энергии, воды и отходов. Этим оценкам и оценкам более ранних этапов способствует существование протоколов корпоративного экологического менеджмента, что будет обсуждаться в гл. 19.

Таким образом, чтобы принять решения по процессу реализации продукта, можно воспользоваться богатой экологической информацией в рамках корпораций. Во многих корпорациях, однако, эта информация не стала доступной и ее нельзя использовать для принятия решений. Формат PRP дает важный и удобный способ использовать ее.

Хотя прохождение ворот, как описано выше, представляет собой дискретную и повторяемую последовательность действий, использование описанных инструментов экологической информации менее строго. В различных корпорациях, в различных обстоятельствах и различными командами оценивания у ворот некоторые из инструментов могут быть использованы на различных этапах или на протяжении нескольких этапов, или могут быть использованы вариации инструментов. Способ, который выберут отдельные корпорации, зависит от деталей плана экологического менеджмента. Важно не только то, что экологическая информация используется определенным образом, но что существует механизм, который гарантирует использование экологической информации в оценках PRP у ворот. Когда этот процесс

## 18 Использование инструментов корпоративной промышленной экологии **343**

осуществлен, появляются возможности выгод для окружающей среды и, все больше, для самих ответственных корпораций.

---

ТАБЛИЦА 18.3 Примерная технологическая карта проектирования конструкции, ориентированной на рециклирование, и объединенной технологии для персональных компьютеров

---

1. Можно ли разделить узлы, сделанные из несовместимых материалов, или они соединены с помощью разъемов? (Обязательное требование)  
Важны соединения между корпусом и шасси и между шасси и электронными узлами. Если узлы и материалы будут повторно использовать или рециклировать, эти детали должны быть легко разбираемыми. Если детали содержат токсичные вещества, разделение должно быть быстрым и безопасным.
  2. Легко ли найти или демонтировать детали, содержащие опасные вещества? (Обязательное требование)  
Минимальная цель для рециклирования – удаление узлов, содержащих токсичные вещества, например батареек и конденсаторов. Они должны легко разделяться
  3. Легко ли найти соединения, которые должны открываться или освобождаться? (Рекомендуемое требование)  
Соединения, которые должны быть открыты или освобождены при демонтаже продукта, должны легко и быстро находиться. Если они скрыты, продукт должен иметь соответствующую консультативную маркировку
  4. Можно ли демонтировать продукт с использованием только универсальных инструментов? (Обязательное требование)
  5. Была ли принята во внимание необходимость рабочего пространства для монтажных инструментов при проектировании необходимых точек приложения? (Обязательное требование)  
Если необходимы инструменты для демонтажа, следует предусмотреть соответствующее рабочее пространство
- 

Адаптировано из технологической карты, разработанной R. Steinhilper, Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Germany.

## 18.6 МЕХАНИКА И ИНСТРУМЕНТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Инструменты промышленной экологии, доступные для корпораций, и этап экологического менеджмента, к которому они обычно относятся, приведены табл. 18.4. Новые инструменты, разумеется, постоянно разрабатываются, и подходы и цели существующих методов частично перекрывают друг друга. Список, таким образом, не обязательно полон, но более чем достаточен для демонстрации того, что механика промышленной экологии имеет множество инструментов, которые можно использовать.

### 344 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

Связь между методами и процессом реализации продукта показана на рис. 18.2. У каждого ворот PRP инструменты промышленной экологии могут основываться на проектировании или на внедрении проектов. Эти инструменты, умело примененные, будут обеспечивать значительные выгоды для окружающей среды и, все больше, для самих ответственных корпораций.

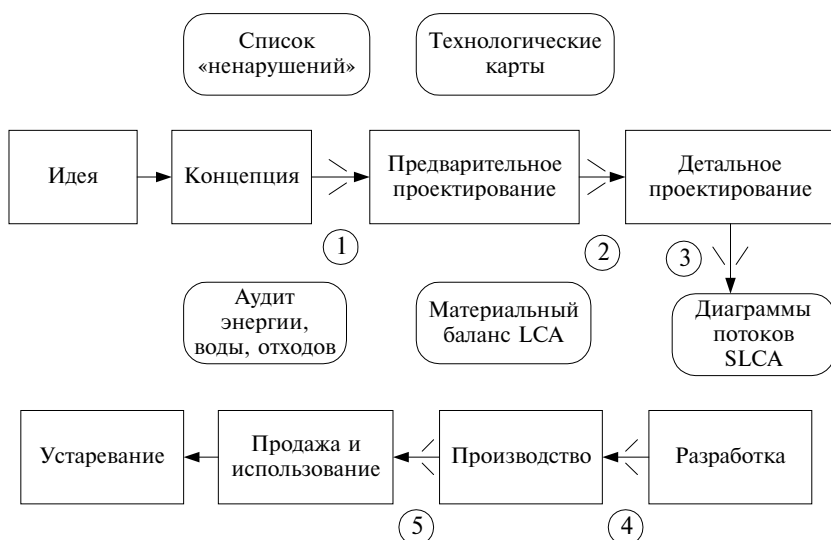


Рис. 18.2

Инструменты промышленной экологии, которые следует использовать, чтобы процесс производства продукта стал успешным

## 18.7 ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ ДЛЯ СЕКТОРА УСЛУГ

Промышленная экология появилась как ответ на наблюдаемые проблемы в производственном секторе, и материал глав. 8—18 главным образом был связан с вопросами, относящимися к проектированию продуктов и производственных процессов. Однако мы еще обсудим в гл. 21, что большая доля экономической деятельности и связанного с ней экологического риска возникает в секторах услуг. Аналитические подходы к промышленной эко-

18 Использование инструментов корпоративной промышленной экологии **345**

логии в этих секторах значительно более примитивны, чем используемые в производстве.

В табл. 18.4 мы отразили те инструменты, которые потенциально полезны без значительной модификации и для промышленной экологии сектора услуг. Соответствие предписаниям, естественно, представляет проблему для многих фирм сектора услуг — например, для больниц. Выбросы в атмосферу, воду и почву также проблематичны для многих из них, например, для химчисток или автомобильных мастерских. Для предотвращения загрязнений, естественно, многие проводят аудит потребления энергии, воды и аудит отходов. Некоторые фирмы индустрии услуг разработали список «ненарушений», который относится не к их производству, но к компонентам продуктов, которые они покупают — неприменение свинцового припоя в электронных устройствах, например.

ТАБЛИЦА 18.4 Корпоративный инструментарий промышленной экологии

Этап	Инструмент
Соответствие регулированию	Инвентаризация выбросов* Аудит соответствия регулированию*
Предотвращение загрязнения	Потоковая диаграмма характеристики процессов Материальный баланс Аудит отходов* Энергетический аудит* Аудит потребления воды*
Проектирование с учетом требований окружающей среды	Список «ненарушений» Технологическая карта экологических свойств Руководство по проектированию Оценка жизненного цикла Упрощенная оценка жизненного цикла* Обратная диаграмма рыбной кости*

\*Инструменты, потенциально полезные также и внутри секторов услуг.

Возможно, наиболее интересным приложением инструментов промышленной экологии к сектору услуг до сего времени

### 346 III Проектирование с учетом требований окружающей среды

были усилия Элизабет Беннет (Elizabeth Bennett) и Томаса Гридела (Thomas Graedel) из Yale University по оценке отдельных секторов услуг или продуктов с использованием упрощенного анализа жизненного цикла. Эти исследования показывают, что наибольшие экологические выгоды, которые могут быть получены в сфере услуг, связаны с экологически чувствительной конструкцией зданий, в которых оказываются услуги, и способами, которыми эти здания и их содержимое снабжается, а не только с услугами как таковыми. Это потенциально полезные выводы, но очевидно, инструменты промышленной экологии для сектора услуг и выводы, которые будут сделаны из их использования, остаются незавершенными на момент написания этой книги.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Bennett, E.B., and T.E. Graedel, "Conditioned air": Evaluating an environmentally preferable service, *Environmental Science & Technology*, 34, 541—545, 2000.

Graedel, T.E., *Streamlined Life-Cycle Assessment*, Chapter 10, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Thurston, D.L., Environmental design trade-offs, *Journal of Engineering Design*, 5, 25—36, 1994.

Van Berkel, R., E. Willems, and M. Lafleur, Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises, I, *Journal of Cleaner Production*, 5, 11—25, 1997.

### УПРАЖНЕНИЯ

- 18.1** Вы — участник команды по проектированию нового тостера. Какие вопросы, как вам кажется, следует обсудить у каждого ворот PRP?
- 18.2** Полезно ли разработать процесс реализации услуг, похожий на PRP рис. 18.2? Протестируйте эту идею, выбрав услугу и определив, какие вопросы должны быть заданы у каждого из ворот. прокомментируйте полезность этого подхода.



Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

## ЧАСТЬ IV

# КОРПОРАТИВНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Вернуться в каталог учебников  
<http://учебники.информ2000.рф/учебники.shtml>

## Г Л А В А 19

# Управление промышленной экологией в корпорациях

### 19.1 ОБЗОР

Частная корпорация — это важная единица в промышленной экологии, проводит ли кто-либо анализ потоков массы или исследует средства, с помощью которых можно разработать экологически предпочтительные продукты. Частные фирмы доминируют в развитии и использовании технологии и находятся в центре глобальной экономической деятельности и, все больше, глобального управления. Поэтому они как в экономическом, так и в социальном смысле чрезвычайно важны при движении в сторону более устойчивой экономики. Специалисту в области промышленной экологии полезно знание соответствующей деятельности корпораций и способов, с помощью которых корпорации рассматривают изменения и управляют ими.

Как и любой большой институт, фирмы более сложны, многогранны и даже внутренне противоречивы, чем многие люди полагают. Группировки, политика, культурные и оперативные различия, внутренний конфликт, дисфункциональное поведение — в фирме можно встретить все. Управление изменениями в таких обстоятельствах возможно, но сложно. Оно требует непростого взгляда на фирму: экологи в особенности имеют тенденцию рассматривать компании как в некотором смысле подозрительные. Это имеет две причины: (1) глубокое недоверие к технологии, основанное на воздействиях на окружающую среду, передаваемых потомству нашей технологической цивилизацией, и (2) недоверие к мотиву прибыли и моральности частных фирм. Элемент скепсиса может быть неизбежен при взаимодействии с мощными институтами разного рода. Однако он становится непродуктивным, если приводит к оппозиции всей технологической эволюции и враждебному подходу к частным фирмам и их роли в повышении экономической, социальной и экологиче-

ской эффективности. Значительно улучшенная окружающая среда требует кооперации корпораций, а не их закрытия.

## **19.2 ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ДЛЯ ФИРМ**

Экологическая программа фирмы необязательно эквивалентна программе промышленной экологии. В прошлом экологические проблемы возникали у фирм из-за плохой или небрежной практики, и правительства стимулировали восстановление и соответствие нормам регулированием. Более того, экологическая деятельность внутри и вне фирмы была сосредоточена в основном на производственном процессе и обычно характеризовалась управлением выбросов «конца трубы». Предписания касались отдельно взятого источника, некоторых веществ, определенных мест или выбросов конкретных процессов. Было недостаточно признать (или намерения признать) то, что воздействия, оказываемые деятельностью фирм, были фундаментально связаны с региональными и глобальными природными, технологическими и экономическими системами. Промышленная экология, однако, требует этого признания и поощряет фундаментальную интеграцию этих проблем на уровне фирмы.

Основные стимулы для действий в этом процессе также изменяются. Хотя хорошо разработанное регулирование (которого очень мало) остается важным, рыночный спрос, который более важен среди бизнесменов, становится все более влиятельным. Мудрые покупатели, которые совершают большую долю коммерческих закупок, как правительства в Японии, Европе и Соединенных Штатах, все чаще требуют экологически предпочтительные продукты и услуги, даже при том, что определение таких предложений остается сложным. Схемы экомаркировки, такие, как Energy Star для экономичных электронных продуктов, немецкая Blue Angel, выдвинули требования по проектированию продуктов и операциям, сильно отличающиеся от контроля по принципу «конца трубы» на производственных предприятиях.

Важно понимать различия в форме, а не только в степени, между традиционным экологическим регулированием и требованиями, выдвинутыми экомаркировкой продуктов. Требования

Blue Angel для персональных компьютеров, например, включают модульную конструкцию деталей, которые могут заменять пользователи, неиспользование связанных несовместимых материалов — пластика и металлов и возврат продукта после использования. Для реализации требований по возврату продуктов необходима разработка системы обратной логистики, которая позволила бы вернуть продукты в центр, где они могут быть разобраны. Это определяет новые взаимоотношения с поставщиками, поскольку они становятся ответственными за надлежащую первоначальную конструкцию их деталей или узлов; это развивает новую корпоративную способность (демонтажа и управления продуктами на конечном этапе жизненного цикла и материальными потоками) и воздействует на процесс бизнес-планирования.

Очевидно, ни одно из этих требований не имеет ничего общего с традиционными экологическими подходами, но скорее включает стратегическую деятельность, центральную для любой производственной компании. Неспособность эффективно выполнять эти функции не просто, как в случае традиционного экологического регулирования, налагает на фирму обязательства. Напротив, неспособность реализовать эту новую форму операций влияет на способность фирмы продавать ее продукт и на структуру издержек по каждому продукту. Неспособность проектировать продукты, системы логистики, маркетинговые планы возврата продуктов после использования, эффективный демонтаж и рециклирование не просто увеличивают накладные расходы фирмы. Более того, через механизм ценообразования эта неспособность выводит продукты фирмы с рынка вне зависимости от того, насколько эффективно продукт мог быть сделан первоначально. Таким образом, экологический потенциал изменяется от способа контроля обязательств до потенциального источника устойчивого конкурентного преимущества.

Рассмотрение лишь накладных расходов экологических проблем — не главный вопрос для корпоративного менеджмента. Однако, становясь стратегическими, экологические проблемы становятся одной из установившейся целей и ограничением, которыми должна управлять фирма, в проектировании продукта, производстве или бизнес-планировании. Например, специалисты-экологи в фирме, производящей электронику, могут указать

на использование свинцового припоя в печатных соединениях на монтажной панели как на проблему, но сложность и технологические ограничения процесса пайки могут сделать замену всего использованного свинца менее токсичными элементами непрактичным, по крайней мере на время. Это происходит из-за того, что экологические проблемы равноважны при проектировании, как и экономические, конкурентные, технологические и другие. Может показаться, что эволюция экологических вопросов от прикладных к стратегическим обесценивает их, поскольку они больше не стоят особняком. Однако включение их в стратегические решения фирмы обеспечивает гораздо более высокий уровень экологической эффективности в долгосрочном периоде.

Это изменение статуса проблем окружающей среды означает значительные изменения. Группа по окружающей среде, здоровью и безопасности (*enviroment, health and safety, EHS*) в большинстве фирм традиционно не оказывала влияния на стратегические или независимые процессы принятия решений; в организационных терминах она имела слабые или несуществующие связи с другими функциональными подразделениями внутри компании. Однако, как только фирма начинает понимать последствия изменения, связи EHS с операциями корпорации усиливаются. Организациям трудно соответствовать требованиям Blue Angel в области исследования и разработок, бизнес-планирования и операций по управлению продуктами и т.д. Это соответствие не может быть обеспечено какой-либо одной организацией — и в особенности одной только группой EHS.

### **19.3 ВНЕДРЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ В КОРПОРАЦИИ**

Реструктуризация, необходимая для внедрения принципов промышленной экологии в существующие фирмы, включает изменения внутренние — существующих подразделений фирмы и организационных единиц — и внешние, поскольку фирма стремится построить новые взаимоотношения с покупателями и поставщиками. Хотя правда то, что более экологически и экономически эффективные технологии оказывают хорошую под-

держку этой эволюции, также правда и то, что во многих фирмах наиболее сложные барьеры — культурные, а не технологические. Это может быть особенно верно для группы EHS. Традиционно экологический персонал высоко специализирован, имеет хорошо очерченный круг обязанностей, определенных скорее на основе доскональных знаний, а не деловых или стратегических способностей. Такие качества не готовят этих специалистов к тому, чтобы играть ведущую роль тогда, когда экологические вопросы становятся для фирмы стратегическими. В этих условиях неудивительно, что некоторые фирмы обнаруживают, что их экологический персонал находится среди наиболее сильно противостоящих этим изменениям в корпоративном рассмотрении экологических вопросов.

Внедрение промышленной экологии в фирмы включает виды деятельности и программы, обычно связанные с любыми культурными изменениями в сложных организациях.

1. Следует выявить и поддержать отдельных активистов, которые появляются в разных подразделениях фирмы и хотят взять соответствующий риск на себя. Таким образом, вопросы «зеленых расчетов» будут опекаться активистом из финансового подразделения, в то время как программы проектирования с учетом требований окружающей среды, возможно, будут продвигаться кем-либо из групп исследования продукта или развития.
2. Препятствия изменениям, в особенности те, что уходят корнями в корпоративную культуру и неформальные особенности поведения, должны быть выявлены и сокращены.
3. Должны быть найдены и использованы наименее угрожающие новые технологии, инструменты и системы. Часто наилучшие изменения — те, которые никогда не признаются людьми их внедряющими.
4. Должны быть найдены веские причины для новых видов деятельности, определенные в терминах интересов целевой аудитории и культурных моделей. Например, если компания производит персональные компьютеры, командой проектирования могут использоваться требования Blue Angel как примеры модели потребительского спроса; для фирмы, занимающейся услугами, потенциал для создания рынка услуг, которые заменят экологически проблематич-

ные продукты, может быть стимулом к изменению поведения.

Эволюция экологических проблем от накладных расходов до стратегических вопросов развития требует, чтобы в фирме была распространена экологическая экспертиза, став частью процессов бухгалтерского учета, стратегического и бизнес-планирования, исследований и разработок, проектирования продукта и маркетинга. С возникновением этого процесса экологические проблемы могут в меньшей степени казаться экологическими и в большей — финансовыми, стратегическими, проблемами проектирования и выбора материалов. Такой перевод экологических проблем на другие корпоративные «языки» весьма желателен: он способствует улучшению экологических характеристик.

### 19.3.1 СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Возможно, наиболее известный компонент программы внедрения промышленной экологии в фирмы — это опора на систему экологического менеджмента (*environmental monagement system, EMS*), определенную в ISO 14001 так:

...та часть общей системы управления, которая включает организационную структуру, деятельность по планированию, обязанности, практику, процедуры, процессы и ресурсы для разработки, внедрения, достижения, пересмотра и поддержания экологической политики.

Диапазон EMS простирается от относительно простых до довольно сложных, что проиллюстрировано самим ISO 14000, набором экологических требований, разрабатываемых в настоящий момент Международной организацией по стандартизации в процессе переговоров с участием промышленных, правительственных заинтересованных лиц и представителей общественности. После внедрения ISO 14000 (табл. 19.1) создает систему экологических стандартов, которая усиливает корпоративное управление экологическими проблемами. Раздел ISO 14001 описывает базовую структуру EMS, в то время как другие разделы имеют дело в основном с продуктами и экомаркировкой. Сфокусированность на продуктах и косвенным образом на производстве показывает, что ISO 14000 основывается на более старой

концепции окружающей среды как накладных расходов, хотя в конечном итоге она поощряет переход к мышлению, в большей степени основанному на промышленной экологии.

ТАБЛИЦА 19.1 Система экологических стандартов ISO 14000

Область стандартов	Серия	Описание
Системы управления	14001	Описывает основные элементы системы экологического менеджмента (EMS)
	14004	Руководящий документ, объясняющий и определяющий ключевые экологические концепции
Оценка и аудирование	14010	Руководство по общим принципам экологического аудита
	14011	Руководство по процедурам аудита, включая аудит EMS
	14012	Руководство по экологическому аудиту или квалификациям
	14013	Руководства по управлению внутренними аудитами
	14014	Руководство по первоначальным обзорам
	14015	Руководство по оценке местоположения объекта
	14031	Определение оценок и руководство по оценке экологических характеристик
Экологическая маркировка	14020	Общие принципы
	14021	Проблемы окружающей среды термины и определения
	14022	Символы
	14023	Тестирование и верификация
	14024	Критерии оценки продуктов и маркировки
	14040	Общие принципы и руководства
Экологическая оценка продуктов	14041	Общие принципы оценки воздействия при оценке жизненного цикла
	14061	Руководство для разработчиков стандартов продуктов

EMS служат подспорьем в улучшении показателей, но не всегда бывают идеальными или необходимыми инструментами.



Большинство транснациональных фирм из-за своего масштаба и обычно высокого качества менеджмента, которое в первую очередь и позволило им стать транснациональными, долгое время имели свои собственные внутренние системы экологического менеджмента. Поскольку эти внутренние системы менеджмента сформированы для фирмы и ее операций, они имеют тенденцию быть более действенными и, бесспорно, более эффективными, чем более бюрократичные и обобщенные общественные EMS. Кроме того, хотя общественные EMS подразумевают их использование всеми типами фирм, они имеют тенденцию более легко внедряться промышленными фирмами, чем другими. То есть желательная общность единообразной структуры оплачивается неэффективностью приложения к конкретной фирме. Более того, сертификация в соответствии со стандартами EMS, в особенности ISO 14000, требует обширных аудиторских проверок внешними консультантами. Аудит обосновывает процесс сертификации, но он также создает и значительные непродуктивные издержки. Это не обязательно означает, что системы EMS обладают небольшой ценностью: в особенности они могут быть удачным руководством для более мелких производственных фирм в развитых и развивающихся странах, с малым опытом в системах управления. Но даже в таких случаях, до тех пор пока покупатели не требуют действительной сертификации, не ясно, обоснованны ли дополнительные издержки на получение сертификации вместо внедрения внутренних EMS.

Более тонкий вопрос для промышленных экологов — то, что EMS имеют тенденцию включать предположения, соответствующие управлению окружающей средой как накладными расходами, а не стратегическим аспектом для фирмы. Во многих случаях значительные выгоды экологической и социальной эффективности в фирме реализуются не более эффективным внедрением «экологической политики», а «рассеянием» экологических вопросов по различным видам деятельности фирмы. В этом смысле EMS обычно помогают фирмам более эффективно управлять окружающей средой как накладными расходами, но редко полезны в изменении отношения к окружающей среде от подсчета накладных расходов до стратегического аспекта в рамках фирмы.

### **19.3.2 ТАКТИЧЕСКИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ**

Традиционные организации EHS, вероятно, будут неэффективными, если им дать полную власть внедрять принципы промышленной экологии, потому что непременно потребуется экспертиза многих других отделов организации. Организация EHS, направленная на определение критериев разработки продуктов, будет иметь небольшое доверие у команд проектировщиков продуктов, например, хотя их входные данные, представленные надлежащим образом, могут помочь командам разработать предпочтительную конструкцию. Организация EHS, которая выпускает стандарты «зеленого расчета» для фирмы, с трудом будет завоевывать доверие менеджеров, даже если они смогут обеспечить необходимыми данными.

Соответственно корпоративная единица, которая не рассматривается как часть ядра группы EHS, часто более эффективна в поддержании эволюции экологических вопросов до уровня стратегических в рамках фирмы.

### **19.3.3 ПРОГРАММЫ ОБУЧЕНИЯ**

Многие средние и малые фирмы слабо соответствуют существующему административно-контрольному экологическому регулированию и малоспособны разрабатывать и использовать методологию промышленной экологии — проектирование с учетом требований окружающей среды. Поэтому бывает важно организовать программы экологического обучения, в рамках которых не только будут даны определенные инструменты, но и будет показано, что такая практика приобретет бизнес-смысл. Крупные фирмы во многих случаях способны организовать такое обучение самостоятельно, малым же, например издательствам, требуется правительственная поддержка. Важно выбрать организацию, участвующую в проведении обучения: если оно предлагается правительственным агентством по охране окружающей среды, например, более мелкие фирмы будут обеспокоены интеграцией функций обучения и соответствия и могут начать подвергать сомнению технологическую компетенцию обучения. Лучше иметь организацию, воспринимаемую как независимую и технологически развитую, — например, местные университеты и колледжи.

### 19.3.4 ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Интеграция экологических вопросов во все аспекты бизнеса фирмы очень сложна, пока не обеспечена надлежащая техническая поддержка: информация по экологически и экономически предпочтительным технологиям, по жизненному циклу продукта и методам DfE, по соответствующим требованиям торговли и маркетинга. В крупных фирмах это можно обеспечить самостоятельно, в том числе объединив с программой обучения. В других случаях, однако, стоит рассмотреть предложение таких услуг через государственные или образовательные организации. Например, если страна имеет ряд финансируемых обществом экологических центров, они могут быть модифицированы для поддержки DfE, LCA и других методологий и обеспечивать информацией по экологически и экономически эффективным материалам, процессам и альтернативам проектов продуктов. С другой стороны, академические институты могут финансироваться для обеспечения этих услуг. При надлежащей реализации этот подход имеет также преимущества в обучении студентов.

### 19.3.5 ТРОЙНОЙ ИТОГ

Безотносительно юрисдикции частные фирмы юридически основаны в целях получения прибыли для своих акционеров. Последняя строчка счетов — это то место, где все издержки и доходы фирмы суммируются, где определяется общая прибыль или убыток операции. Недавно заинтересованные лица и фирмы начали экспериментировать с подходом, известным как *Тройной итог* (*Triple Bottom Line, TBL*<sup>1</sup>), в котором фирма пытается удовлетворить не только экономическим, но также и экологическим и социальным критериям функционирования. С этой точки зрения экологические вопросы и промышленная экология становятся частью более широкого подхода, с помощью которого фирма управляет своей деятельностью (рис. 19.1).

---

<sup>1</sup> Bottom line — сумма, записываемая в последней строчке бухгалтерского отчета — чистая прибыль или чистый убыток — прим. перев.



Рис. 19.1

Тройной итог способствует тому, чтобы фирмы удовлетворяли не только экономическим, но также экологическим и социальным критериям. Это образует условия, в которых в будущем будет осуществляться и оцениваться деятельность в области корпоративной промышленной экологии

Хотя большинство крупных фирм всегда имели социально ответственный элемент (в частности для того, чтобы быть уверенным в продолжающейся общественной поддержке их деятельности), предложение измерять социальные и экологические показатели собственной деятельности и считать это частью их основной деятельности ново для фирм, тем более что в определенном смысле сдвигает определение частной фирмы. Слишком рано говорить о том, будут ли такие подходы, как TBL, полезны или успешны, с точки зрения фирмы или общества в целом.

В то время как ряд ведущих фирм начинает разрабатывать годовые отчеты, основанные на этой концепции, и была образована новая неправительственная организация (*Global Reporting Initiative*) для поддержания этой деятельности, все еще предстоит разрешить существенные вопросы. Возможно, наиболее важен культурный релятивизм концепции социальной ответственности. Для промышленного эколога важна растущая связь относительно объективных исследований в области промышленной экологии и, возможно, неопределенных и сложных условий, в которых могут быть применены результаты таких исследований.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., *Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Castells, M. and P. Hall, *Technopoles of the World: The Making of 21st Century Industrial Complexes*, London, Routledge, 1994.

Finster, M., P. Eagan, and D. Hussey, Linking industrial ecology with business strategy, *Journal of Industrial Ecology*, 5(3) 107–125, 2002.

Frankl, P., Life cycle assessment as a managing tool, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 530–541, 2002.

Kanholm, J., *ISO Requirements*, Pasadena, CA: AQA Co., 1998.

Schmidheiny, S. (and the Business Council for Sustainable Development), *Changing Course*, Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

## УПРАЖНЕНИЯ

**19.1** Вы — только что назначенный экологический директор основного производителя электроники. Вам дали предписание по внедрению в фирме DfE в течение года.

- (a) Разработайте организационную структуру для выполнения вашей задачи.
  - (b) Разработайте план, включающий действия, промежуточные цели и измерение там, где это необходимо, для выполнения вашего предписания.
  - (c) Изменится ли ваш план, если компания должна будет экспортировать 90% своей продукции в Европу в течение пяти лет?
- 19.2** Президент вашей компании, которая продает CD и книги по всему миру, предложил вам привести компанию в соответствие с концепцией Тройного итога.
- (a) Каковы конкретные вопросы, которые ваша компания должна рассмотреть при оценке своего статуса TBL?
  - (b) Какие исследования в области промышленной экологии вы считаете нужным провести для определения вашего статуса TBL?
- 19.3** Вы — новый министр окружающей среды в стране, которая только что стала устойчивой за одно поколение (25 лет). Вы достаточно умны для того, чтобы полагаться в основном на рыночные механизмы, эволюцию и распространение новых, экологически предпочтительных технологий частными фирмами. Используя ваше понимание частных фирм, какие политические программы вы реализуете для поощрения фирм стать экологически ответственными? Какие меры, характеризующие корпоративные достижения, будут здесь уместны?

## Г Л А В А 20

# Индикаторы и метрики

### 20.1 ВАЖНОСТЬ ИНДИКАТОРОВ И МЕТРИК

Как в правительственном, так и в промышленном управлении «что измеряется, тем можно управлять», в особенности в такой сложной и насыщенной идеологией области, как окружающая среда. Метрики и индикаторы гарантируют прозрачность и обеспечивают стимулы для реализации. Почти невозможно представить какую-либо систему экологического управления, которая не полагается на некоторое структурированное оценивание для проверки и направления ее функции. *Метрики (metrics)* и *индикаторы (indicators)* служат инструментами структурированной оценки, будучи мерами прогресса и стимулами для характеристик функционирования. Метрика — это количественная мера результата в сравнении с определенным критерием. Индикатор — это неколичественная мера состояния окружающей среды, например существование или несуществование исчезающих видов. Выбранные надлежащим образом, это ключевые элементы программ экологического улучшения, вне зависимости от организации, пространственного или временного масштаба.

На практике задача определения обоснованных мер для отслеживания эволюции социальных и природных систем вызывает существенные проблемы для правительств, неправительственных организаций, частных фирм и обществ. Чем выше уровень, тем больше интегрированных метрик и индикаторов включает высокое нормативное содержание. Хотя на первый взгляд они кажутся количественными, фактически они могут иметь значительные культурные, этические и экономические последствия (табл. 20.1). Тем не менее образование значимых политических программ и интегрированный подход к экологическим пертурбациям требуют определения некоторого количества индикаторов и метрик для оценки прогресса в направлении выбранных целей.

ТАБЛИЦА 20.1 Цели системы метрик

Цель	Нормативное содержание связанных метрик
Этика	Высокая
Межвидовая	
Внутривидовая	
Между поколениями	
Внутри поколения	
Идеология	Высокая
Коммуитаризм	
Эгалитаризм	
Защита окружающей среды	
Управление	Средняя
Достижение устойчивого мира	
Устойчивого насколько?	
Какого мира?	
Экоэффективность	Низкая
Сокращение воздействий (идти в нужном направлении)	
Вносить вклад в устойчивость	

## 20.2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МЕТРИК

Метрики соответствуют разнообразию пространственных шкал и организационных единиц. Хотя важно использовать глобальные метрики для оценки состояния мира, только там, где шкала соответствует организационной единице, метрика действительно обладает полезностью. Правительство может быть озабочено глобальной проблемой, например устойчивостью, но может достичь успеха, только используя метрики, которые стимулируют действия на национальном уровне. Национальные метрики качества воды и воздуха давно существовали во многих странах, и концепция устойчивости вдохновила разработку новых национальных метрик. В 1987 г., например, в Нидерландах начали разрабатывать метрики в рамках Национального плана экологической политики на 1989 г., поставив цель сделать страну устойчивой за одно поколение (см. гл.7). Очевидно, это потребовало некоторых метрик, с помощью которых можно было бы измерить достижения в этом направлении. В результате было определено, что метрики должны удовлетворять четырем требованиям.



1. Они должны иметь некоторое отношение к лежащим в основе случайным взаимоотношениям внутри изучаемых систем и должны агрегировать максимум информации в значимую составную меру. Эта мера должна иметь интуитивную привлекательность и быть понятной.
2. Они должны тщательно отражать тенденции по соответствующей временной шкале (например, метрика для глобального изменения климата должна оцениваться по месячной временной шкале) и, где это уместно, отражать как среднесрочные, так и долгосрочные эффекты.
3. Они должны быть связаны с существующими политическими целями и соответствующими видами деятельности; в конечном итоге они должны быть связаны с достижением устойчивости.
4. Они должны быть ясны и понятны общественности, чтобы вызвать поддержку связанной с ними политики и достичь со временем культурных изменений, которые будут предпосылкой к устойчивой глобальной экономике.

«Темы», по которым в Нидерландах были разработаны индикаторы, включали:

- изменение климата;
- закисление окружающей среды;
- эвтрофикацию;
- распространение токсинов;
- накопление твердых отходов;
- нарушение локальных экосистем;
- обезвоживание почв;
- истощение ресурсов;

Каждая тема имела разработанные для нее количественный индикатор (метрику) и количественную цель. В некоторых случаях метрика имеет несколько составляющих, которые в свою очередь могут быть основаны на сложных данных. Например, тема изменения климата имеет общую метрику «давление», составленную из компонентов — выбросов диоксида углерода, метана, оксида азота, фреонов и галонов. На рис. 20.1 показаны проведенные в Нидерландах расчеты по теме «изменение климата», выраженные в эквивалентах  $\text{CO}_2$ , а также цели для сокращений. Результат подтверждает достижение определенной социальной цели.

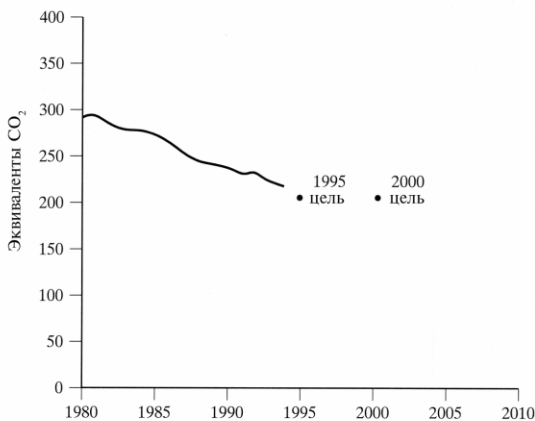


Рис. 20.1

Метрика эквивалентов CO<sub>2</sub> — составляющая голландской системы метрик устойчивости (По Adriaanse, A., *Environmental Policy Performance Indicators: A study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, 1993.)

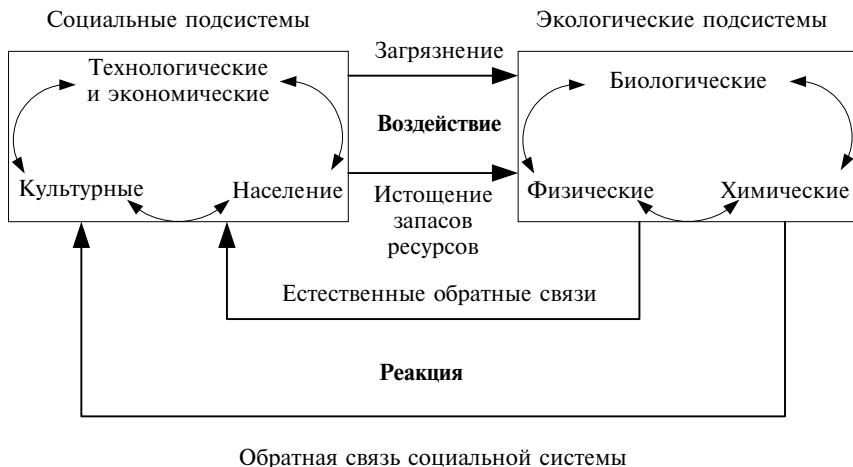


Рис. 20.2

Схема воздействие — состояние — реакция. Хороший набор метрик будет включать меры для отслеживания прогресса по каждому из компонентов схемы (Основано на A. Hammond, A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, and R. Woodward, *Environmental Indicators*, Washington, DC: World Resources Institute, 1995.)

Разработка таких индикаторов требует понимания не только научных данных, но и условий, в которых такие индикаторы работают, включая экономические, технологические, политические и культурные измерения. Эти факторы приведены на схеме воздействие — состояние — реакция (рис. 20.2), которую можно использовать для разработки более широкой матрицы метрик устойчивости (табл. 20.2). Метрики могут быть приняты для измерения воздействия на некоторые аспекты (как голландцы сделали для выбросов CO<sub>2</sub>), состояния (как делается при изучении существования и распространения видов) и реакции (как в уровне инвестиций для очистки воды).

### 20.3 МЕТРИКИ УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В последние годы многие корпорации начали выпускать ежегодные экологические отчеты. Центральным моментом большинства этих отчетов — экологические показатели компаний, выраженные результатами метрик. В отличие от корпоративных финансовых отчетов, для которых приняты строгие стандарты и форматы, метрики в корпоративных экологических отчетах выбираются самостоятельно. Некоторые из обычно используемых метрик даны в табл. 20.3, хотя всего лишь несколько отчетов включают их так много. Поскольку разработка метрик продолжается, данные табл. 20.3 следует рассматривать как образцы, которые необходимо соответственно модифицировать для определенного сектора, фирмы, предприятия или рассматриваемой операции.

Корпоративные метрики обычно нормализуют — приводят к конкретному виду, например, «расход воды на единицу продаж», потому что используемые экологические характеристики весьма размыты, например, «крупный рост производства». Там, где включаются меры послепродажного функционирования продуктов, метрики обычно нормализуют в расчете на единицу продукта. Нормализация полностью обоснованна на корпоративном уровне, но может иметь меньше смысла, когда ее используют для общества в целом. С ростом населения и богатства поддержание экологических характеристик в расчете на душу населения или на единицу продукта, хотя и похвально, может, тем не менее, приводить к общим неустойчивым показателям на уровне глобальных систем.

ТАБЛИЦА 20.2 Матрица потенциальных экологических индикаторов правительственного уровня

Проблема	Воздействие	Состояние	Реакция
Изменение климата	Выбросы парниковых газов	Концентрации	Энергоемкость
Разрушение озонового слоя	Выбросы галогенсодержащих углеводородов	Концентрации хлора	Монреальский протокол
Эвтрофикация	Выбросы азота, фосфора	Концентрации азота, фосфора; потребность в биологическом кислороде	Инвестиции и издержки очистки воды
Закисление	Выбросы SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>	Отложение, концентрации	Инвестиции; соглашения в области управления
Загрязнение токсичными веществами	Выбросы тяжелых металлов, устойчивых органических соединений (POC*)	Концентрации POC, тяжелых металлов	Переработка опасных отходов; управление и инвестиции/издержки
Качество жизни в городе	Летучие органические соединения (VOC**), выбросы NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>	Концентрации VOC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>	Расходы, транспортная политика
Биологическое разнообразие	Преобразование земли; фрагментация земель	Изобилие видов	Охраняемые территории
Отходы	Образование отходов по секторам и сообществам	Качество почв/подземных вод	Уровень сбора материалов; инвестиции и издержки рециклирования
Водные ресурсы	Спрос и интенсивность использования сектором и сообществом	Отношение спрос/предложение по сектору; качество воды	Расходы; цены на воду; политика собрежения
Лесные ресурсы	Интенсивность использования	Площадь нарушенных лесов	Охраняемая область леса; преобладание практики устойчивого лесопользования
Рыбные ресурсы	Рыболовство	Устойчивые запасы	Квоты и экономическая рационализация
Разрушение почвы	Изменение использования земли	Потеря верхнего слоя почвы; деградация почв	Восстановление/защита
Океаны/прибрежные зоны	Выбросы; разливы нефти; эвтрофикация	Качество воды; биологические воздействия	Управление прибрежной зоной; защита океана
Экологический индекс	Индекс воздействия	Индекс состояния	Индекс реакции

\* POC — persistent organic compounds.

\*\*VOC — volatile organic compounds.

Характеристики, приведенные в табл. 20.3, и другие существующие множества корпоративных метрик ориентированы на отрасли производства продуктов. Но значительная доля промышленной деятельности в действительности сосредоточена не на производстве продукта, а на услугах (например, телекоммуникации, розничная торговля, общественное питание), инфраструктуре (вода, транспорт), или ресурсах (добыча полезных ископаемых, лесное хозяйство, рыбное хозяйство). В этих областях, так же необходима разработка метрик, как и в производстве, но в настоящий момент она находится в зачаточном состоянии.

Ранние корпоративные экологические отчеты имели дело главным образом, с традиционными темами (загрязнением воздуха и воды) и с несколькими не регулируемые, но легко измеряемыми параметрами (использованием воды). Этот подход сейчас развивается в отчетах по корпоративной устойчивости, разработанных на основе концепции Тройного итога. По сравнению с экологическими материками социальные метрики на этом этапе проблематичны и плохо определены по двум основным причинам. Во-первых, в отличие от экологических проблем, опирающихся на науку об окружающей среде или экологию, социальные проблемы не имеют поддержки со стороны объективной науки. Во-вторых, социальные проблемы имеют гораздо большее культурное содержание, чем экологические. Так, на практике они имеют тенденцию быть гораздо более идеологичными и очень спорными. Например, группа влиятельных американцев может считать, что все иностранные рабочие должны получать такую же зарплату, как и рабочие-американцы, на том основании, что обратное означает эксплуатацию рабочих в развивающихся странах. Развивающаяся страна, с другой стороны, может считать что эта позиция — только замаскированная форма протекционизма и (при более низкой производительности их рабочих) просто способ гарантировать, что она не может использовать сравнительное преимущество, более дешевый труд или саморазвиваться. Роль, которую частные фирмы должны сыграть в стимулировании социальных изменений своими экономическими действиями, по-прежнему открыта для обсуждения. Пока есть сильное желание, чтобы фирмы не были социально безответственными, но это еще не

дает возможности фирмам активнее действовать в социальной, а не в экономической сфере.

---

ТАБЛИЦА 20.3 Типичные корпоративные экологические метрики

---

Материалы

Количество материала на единицу продаж

Доля рециклированного или повторно использованного материала

Потребление ресурсов при переработке

Расход энергии на единицу продаж

Расход воды на единицу продаж

Отходы и выбросы

Количество отходов на единицу продаж

Количество опасных отходов на единицу продаж

Количество выбросов, влияющих на определенные изменения в воздухе, воде или почв на единицу продаж

Операции

Количество отходов упаковки на единицу продукта

Количество отходов, образовавшихся во время использования, на единицу продукта

Энергопотребление во время использования на единицу продукта

---

Промышленные экологические метрики, хотя и менее сложные и нормативные, чем социальные, могут быть проблематичны и в той же степени утилитарны. Естественный путь — разработать метрики, которые можно было бы широко применить в разных секторах или промышленных группах и таким образом стимулировать сравнение данных разных фирм. Другие, однако, предпочитают метрики, которые имеют значение для отдельных видов деятельности и операций фирмы или сектора. Примером может служить метрика, имеющая дело с устойчивым использованием земли — это в большой степени соответствует деревообрабатывающей компании, но не очень значимо для, скажем, производителя портативных радиоприемников. Некоторые полномочные «зеленые» группы применяют общие метрики (например, выбросы CO<sub>2</sub>), скажем, к телекоммуникационным фирмам и к химическим компаниям на том основании, что это стимулирует прозрачность и сравнимость. Использование таких метрик для компаний, предоставляющих услуги, однако, имеет тенденцию делать

неясным, каковы на самом деле их воздействия на окружающую среду — положительные или отрицательные. Например, если набор метрик только учитывает негативные воздействия телекоммуникационной фирмы путем использования метрик, которые имеют смысл в основном в производственных или энергетических условиях, но не охватывают использования инфраструктуры телекоммуникаций для избежания передвижений и безбумажного ведения документации, этот набор оказывается неспособным дать объективную и сбалансированную картину реального воздействия фирмы на экологические системы.

## 20.4 ОТОБРАЖЕНИЕ И ОБЪЕДИНЕНИЕ МЕТРИК

Эффективное объединение метрик и их отображение могут существенно увеличить их выразительность и полезность. Опасность таких подходов заключается в том, что они могут быть чрезмерно упрощены или могут вводить в заблуждение; в силу потенциальной компенсации, однако, их стоит рассмотреть.

Простейший уровень отчета передает единообразные значения и информацию об отдельных метриках. Основная выгода от наличия общей метрики заключается в том, что единообразная шкала рейтинга позволяет напрямую сравнивать экологические характеристики работы корпораций в одном промышленном секторе и отслеживать во времени экологические показатели отдельной корпорации. Не представляет проблемы то, что масштабы для различных секторов будут различаться. Например, считается, что такие финансовые показатели, как обязательства, собственный капитал и удельный вес выплачиваемых дивидендов, обычно имеют отраслевую специфику.

Обзор экологических показателей корпорации дается путем отображения метрик на объединенной диаграмме. Предположим, что были выбраны 10 метрик и что все они нормализованы на шкале 5—10. Можно представить их в виде треугольной счетной панели отображения метрик, разделенной на 10 областей (одна для каждой из 10 метрик) (рис. 20.3). Внутри каждой области можно обозначить уровень показателя оттенком серого или, еще лучше, — различными цветами.

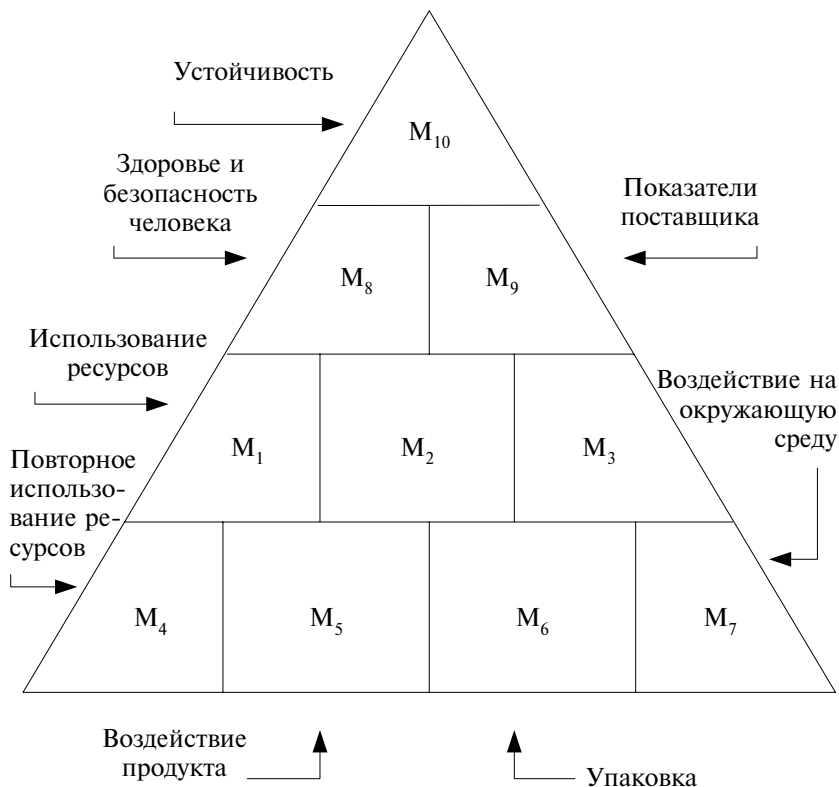


Рис. 20.3

Треугольная счетная панель для набора 10 корпоративных метрик. Число метрик произвольно

	Красный	Оранжевый	Желтый	Голубой	Зеленый
Рейтинг	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10

Цветная треугольная панель показывает метрики в форме, которая направляет внимание пользователя к области наибольших и наименьших показателей: это может быть эффективным способом передачи информации о группе промышленных экологических метрик отдельному предприятию или корпорации в целом. Такое отображение можно привести к единообразному и



легко понятному представлению корпоративных экологических показателей. Например, диаграмма ежедневной потребности в рационе Департамента сельского хозяйства США эффективно представляет характеристику пищевых продуктов. Заключительным, хотя и, возможно, спорным этапом могло бы стать объединение результатов множества метрик в единый индикатор корпоративных экологических характеристик.

## 20.5 СИСТЕМЫ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МЕТРИК

Цели, относящиеся к окружающей среде, могут определяться индивидуумами, фирмами или правительствами. Как было сказано выше, используются довольно разные подходы, если метрики выбираются и цели ставятся исключительно с точки зрения любого из них. Однако роль экологических метрик и целей усиливается, когда их выбирают на иерархической основе, так что меры и цели на некотором уровне ясно связаны с мерами и целями уровнем выше и ниже. На этом основаны цели в Киотском протоколе, в котором национальные вклады по стрессогенным факторам были одобрены в контексте глобальной экологической проблемы. Полное осуществление любого такого плана действий в конечном итоге включает связывание национальных целей с целями на локальном и региональном уровнях и с промышленностью, правительством и индивидуумами. Иерархическая концепция представлена на рис. 20.4.

Ясно, что иерархическая метрика должна быть тщательно отобрана, и на разных уровнях она может быть выражена несколько по-иному. Например, маловероятно, что метрика, прямо оценивающая устойчивость, окажет большую помощь в проектировании производственного процесса очистки печатных плат в электронике. Однако если система создана для того, чтобы связывать различные аспекты производства (например, меньшее потребление энергии) через промежуточные уровни (сокращение выбросов диоксида углерода в результате производства энергии) с целями устойчивости (сокращение глобального изменения климата), можно гарантировать, что инициативы, предпринятые на разных уровнях, сложатся в целостную структуру. В отсутствие такой системы продвижения в направ-

лении экологической цели сквозь различные системные уровни будет сложным, если не невозможным.

В противоположность отдельным метрикам набор экологических метрик также может быть выстроен в иерархическую систему. Такая система (рис. 20.5) может иметь форму, приведенную на рис. 20.3, но отдельные наборы метрик отображаются по многоуровневой рассматриваемой системе. Это, в свою очередь, становится сконцентрированным на метриках мониторингом прогресса в направлении главных целей гл. 1. Система не обязательно должна иметь три уровня, изображенных на рисунке. Если бы целью были мониторинг и оптимизация национального потребления воды или разрушение локальных экосистем, например, глобальный уровень опускался бы, и локальный и региональный уровни могли бы быть разделены или подразделены для того, чтобы получить более точную оценку на стадии потребления.

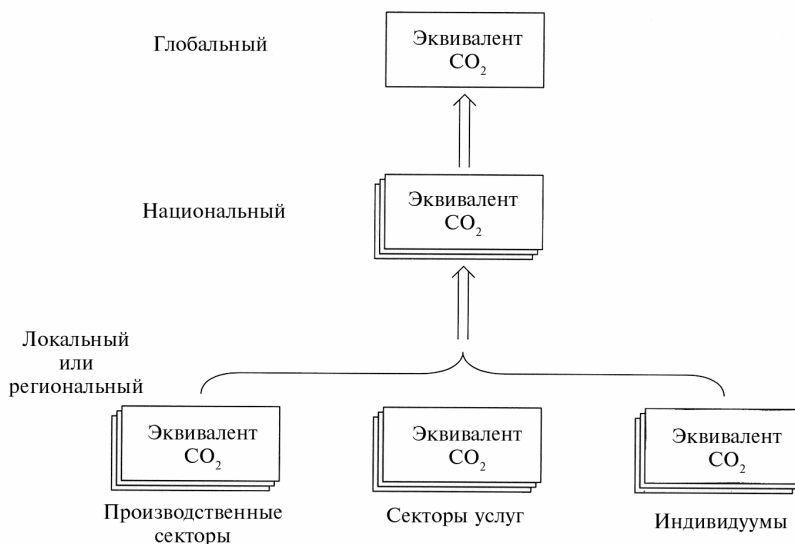


Рис. 20.4

Иерархия метрик для выбросов в эквиваленте CO<sub>2</sub>. Тот же самый подход может быть использован для иерархии индикаторов, таких, как наличие устойчивых запасов рыбы

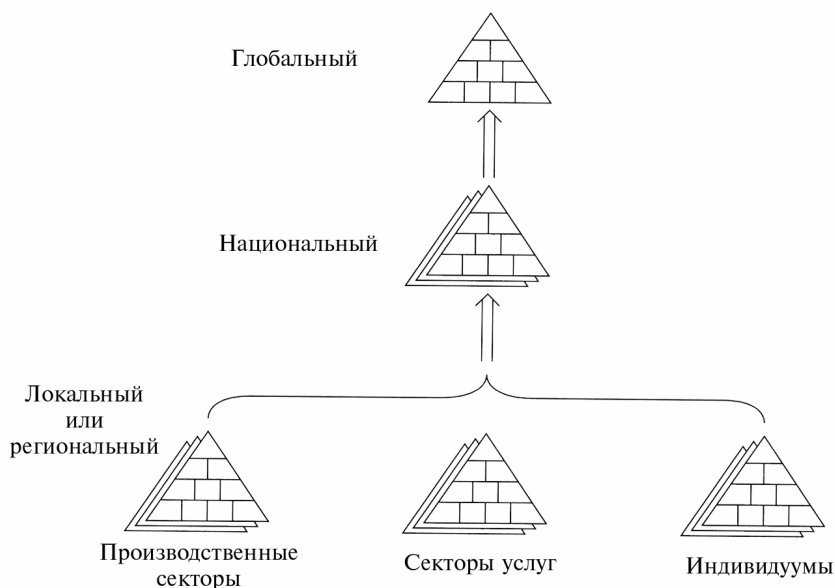


Рис. 20.5

Иерархия множеств метрик. Некоторые блоки могут напоминать блоки рис. 20.4, но для того чтобы интегрированная система имела смысл, понадобились бы все наборы метрик для соответствия наивысшему иерархическому уровню

Как корпоративные, так и в иерархические общественные метрики, если все они приведены к общей шкале, могут быть суммированы для получения комплексной оценки. Такие объединенные подходы ценятся неэкспертами за простоту и понятность, хотя эксперты хорошо понимают неопределенность доступности и качества данных, а также соответствующего риска. Трудно представить, однако, что прогресс в направлении глобальной устойчивости может быть достигнут без объединенной системы метрик. Так как глобальное сообщество движется к более устойчивой модели поведения, оно будет делать это частично путем использования рассмотренных иерархических систем метрик, как, например, сделали Нидерланды в национальном масштабе. Корпорации должны сотрудничать с другими общественными и частными организациями в разработке системы мет-

рик, чтобы гарантировать, что проект системы реалистичен, его можно внедрить и он иерархически последователен.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Adriaanse, A., *Environmental Policy Performance Indicators: A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, 1993.

Committee on Industrial Environmental Performance Metrics, *Industrial Environmental Performance Metrics: Challenges and Opportunities*, Washington, DC: National Academy Press, 1999.

Global Reporting Initiative, *Sustainability Reporting Guidelines on Economic, Environmental, and Social Performance*, Boston, 91 pp., 2002.

Hammond, A., A. Adriaanse, E. Rodenburg, D. Bryant, and R. Woodward, *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*, Washington, DC: World Resources Institute, 1995.

Hardi, P., Trendsetters, followers, and skeptics: The state of sustainable development indicators, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (4), 149–162, 2001.

Kuik, O. and H. Verbruggen, eds., *In Search of Indicators of Sustainable Development*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991.

Owens, J.W., Water resources in LCA impact assessment: Considerations for choosing category indicators, *Journal of Industrial Ecology*, 5 (2), 37–54, 2001.

Shane, A.M., and T.E. Graedel, Urban environmental sustainability metrics: A preliminary set, *Journal of Environmental Planning and Management*, 43 (5), 643–663, 2000.

Wernick, I.J., and J.H. Ausubel, National material metrics for industrial ecology, in *Measures of Environmental Performance and Ecosystem Condition*, P.C. Schulze, ed., Washington, DC: National Academy Press, 157–174, 1999.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 20.1 (a) Выберите три индикатора устойчивости, которые, как вы полагаете, в наибольшей степени подходят для: (1) Швеции, (2) Соединенных Штатов, (3) Китайской Народной Республики и (4) Конго.
- (b) Отличаются ли индикаторы, которые вы выбрали, и если да, то почему? Обоснуйте выбор каждого индикатора для каждой страны. Рассмотрите в своем ответе развитие, размер, отноше-

ние численности населения к ресурсам, взаимоотношения с глобальной экономикой (в особенности торговлей), состояние окружающей среды и любые другие факторы, которые, как вам кажется, имеют значение.

(с) Имея в виду ответ на вопрос (b), думаете ли вы, что суверенное государство — это соответствующий политический уровень для определения индикаторов устойчивости? Почему? Можете ли вы предложить какие-либо альтернативы, и если так, то каковы их выгоды и недостатки?

**20.2** Вы — оператор на предприятии, производящем металлические детали с соответствующими операциями, включающими отливку, механическую обработку, очистку, упаковку и транспортировку. Используя табл. 20.3, предложите набор метрик, с помощью которых можно оценить ваши производственные операции. Затем создайте группу метрик, охватывающих жизненный цикл детали. Какое множество метрик менее неопределенно и более просто с точки зрения измерения и контроля? Что это вам говорит о природе промышленных экологических метрик?

**20.3** Вам дана задача разработать иерархические метрики для энергии, следуя схеме на рис. 20.4. Какие именно метрики вы выберете для одного конкретного агента (индивидуума, страны и т.д.) для каждого из пяти типов или регионов на рисунке? Объясните, как локальные и региональные метрики суммируются для получения полезной картины при больших масштабах.

## Г Л А В А 21

# Услуги, технология и окружающая среда

Традиционное экологическое регулирование и управление всегда было основано на предположении, что именно производство, а не экономическая деятельность в целом служит источником экологического стресса. Это восприятие отражает видимость воздействий на окружающую среду, возникающих от производства, связанных с ним воздействий на здоровье человека, и часто — от прямолинейных технологических решений. Однако предположение, что регулирование и управление производственными выбросами создадут экологически и экономически устойчивый мир, просто неверно. Дело не в том, что выбросы производственных процессов по-прежнему не требуют внимания, в особенности в развивающихся странах. Но экологические возмущения все чаще становятся результатом экономической деятельности в целом, а в экономике развитого мира они все более определяются сферой услуг (рис. 21.1). Существует стойкое представление, что смещение основы экономики потребления с продажи произведенных продуктов к предложению услуг (servicising) всегда экологически более предпочтительно и представляет простой способ движения к более устойчивой экономике. Интуитивно это кажется разумным, но пока не было подтверждено данными анализа.

### 21.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛУГ

Услуга может быть определена как любая коммерческая деятельность, в которой производство — доминирующая характеристика, или, как сказал один шутник, все, что вы покупаете, но что нельзя уронить вам на ногу. Производство автомобиля не относится к услугам, но сдача автомобиля в аренду относится, поскольку то, что передается в транзакции — не право собственности на продукт, а право на его использование. С той же точки зрения, если производитель пестицидов обеспечивает фермера химическим соединением, он продает произведенный продукт, а не предлагает услугу. Если производитель пестицидов

вместо этого предлагает фермеру полную систему контроля над вредителями, которая включает использование пестицидов, советы по севообороту и выбору культур, поощрение изменения практики мульчирования и вспашки и осуществление мониторинга полевых условий с помощью имплантированных сенсоров и спутниковых систем в режиме реального времени, так называемый пакет комплексного управления вредителями (*integrated pest management package, IPM*) — это предложение услуги. А между этими двумя крайностями — бесчисленные бизнес-модели, гибриды традиционного производства пестицидов и IPM.

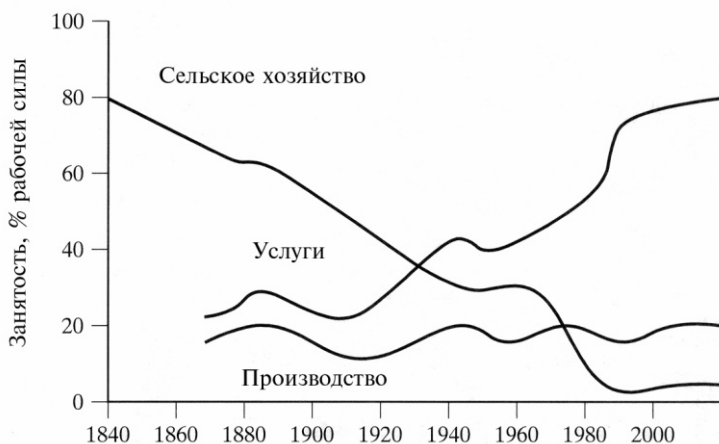


Рис. 21.1

Занятость в отраслях в Соединенных Штатах с 1840 по 2000 г. Обратите внимание, что наблюдается сдвиг в основном не от производства, где занятость оставалась относительно постоянной, к секторам услуг; скорее, он отражает долгосрочную механизацию сельского хозяйства и сопутствующее освобождение людей из этой сферы и их переход в сферу услуг. Похожие модели характеризуют и другие развитые страны

В большинстве развитых экономик сектор услуг охватывает от 65 до 85% экономической деятельности. Эта доля для разных стран различна и усложняется проблемой определений — например, Японская экономика более ориентирована на производство, чем экономика США. Не существует универсального, всеми принимаемого определения услуг, что можно видеть, посмотрев национальные системы экономических счетов, например, коды Стандартной промышленной классификации (Standard Industrial

Classification Codes, коды SIC) Соединенных Штатов. В табл. 21.1 приводятся основные категории кодов SIC: хотя раздел I определен как услуги, очевидно, что в другие разделы, например E (инфраструктура), F(оптовая торговля), G (розничная торговля), H (финансы и недвижимость), J (госслужба) включают также и предоставление услуг.

ТАБЛИЦА 21.1 Коды стандартной промышленной классификации (SIC) США

Раздел	Отрасль
A	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыбное хозяйство
B	Добыча полезных ископаемых
C	Строительство
D	Производство
E	Транспортные услуги, услуги связи, электро- и газоснабжение, санитарные услуги
F	Оптовая торговля
G	Розничная торговля
H	Финансы, страхование и недвижимость
I	Услуги
70 Основная группа	Отели, меблированные комнаты, кемпинги и другие места для жилья
72	Персональные услуги
73	Бизнес-услуги
75	Ремонт, обслуживание и парковка автомобилей
76	Различные услуги по ремонту
78	Кино
79	Индустрия развлечений и отдыха
80	Медицинские услуги
81	Юридические услуги
82	Образовательные услуги
83	Социальные услуги
84	Музеи, галереи искусств, ботанические сады и зоологические парки
86	Членские организации
87	Инженерные, бухгалтерские, исследовательские, управленческие и связанные с ними услуги
88	Частные домовладения
89	Разные услуги
J	Государственная служба
K	Не поддающиеся классификации учреждения



Деление раздела I отражает то, что в то время как он, разумеется, охватывает ряд услуг, он все же не является исчерпывающим. Ряд этих услуг — инжиниринг, ремонт, бухгалтерия и т.д. — это сделки «бизнес — бизнес», а не «бизнес — потребитель»; это важно, поскольку степени взаимодействия, экспертизы и рычагов управления весьма различны.

Полезно разделить составляющие сектора услуг на три общих типа, поскольку они по-разному функционируют и процедуры их экологического оценивания также различаются. Эти типы, называемые альфа-, бета- и гамма- услуги, описываются ниже.

### 21.1.1 АЛЬФА-УСЛУГИ: КЛИЕНТ ПРИХОДИТ К УСЛУГЕ

В распространенных, альфа-услугах услуга оказывается в фиксированном месте, а клиент к ней приходит сам. Примером может служить химчистка, которая принимает одежду, обрабатывает ее с помощью химических или физических процессов и возвращает. Продуктом (одеждой) здесь владеет клиент, продукт временно переходит к оказывающему услугу предприятию и затем возвращается. С точки зрения оценки проектирования с учетом требований окружающей среды (DfE) воздействия, связанные со зданием, где оказывается услуга, а также сама услуга связываются с тем, кто ее оказывает. В зависимости от философии аналитика воздействия на окружающую среду, связанные с транспортировкой, могут быть связаны либо с клиентом, либо предприятием, оказывающим услугу. Некоторые примеры альфа-услуг даются в табл. 21.2.

Экологическая ответственность за оказание альфа-услуг оценивается с точки зрения LCA или SLCA во многом так же, как бы оценивалось предприятие. Этап 1 жизненного цикла (рис. 21.2) рассматривает либо создание предприятия либо модификацию, требуемую для того, чтобы сделать предприятие подходящим для оказания данной услуги. Этап 2 относится к оборудованию, необходимому для оказания услуги — компьютерам, оборудованию для автоматической починки и т.д. Этап 3а похож на матрицу производственных предприятий, но относится к характеристикам DfE поставляемых, а не производимых продуктов. Этапы жизненного цикла 3б и 4 оцениваются для производственных предприятий.

ТАБЛИЦА 21.2 Характеристики продукта и процессов типичных коммерческих и промышленных предприятий по оказанию услуг

Предприятие	Продукт	Процесс
<b>Альфа-услуги</b>		
Химчистка	Чистые вещи	Очистка
Парикмахерская	Стрижка	Химическая и физическая обработка
Больница	Поддержание здоровья	Медицинское обслуживание
<b>Бета-услуги</b>		
Ремонт приборов	Отремонтированные приборы	Ремонт деталей и налаживание функции
Обслуживание газонов	Обслуживание собственности	Стрижка, удобрение и т.д.
Доставка пакетов	Транспортировка пакетов	Приемка, перемещение, доставка
Банк	Финансовые услуги	Электронные сделки
Сигнализации	Мониторинг зданий	Электронные коммуникации

### 21.1.2 БЕТА-УСЛУГИ: УСЛУГА ПРИХОДИТ К КЛИЕНТУ

Бета-услуги оказываются в том месте, где находится клиент. В табл. 21.2 приведены некоторые примеры бета-услуг, например починка приборов на дому у клиента. Поставка и обслуживание сдаваемых в аренду фотокопировальных машин — это распространенный пример из области коммерции. Другой тип бета-услуги — сдача в аренду телевизора. В этом случае продуктом владеет поставщик услуг, и этот продукт временно передается пользователю, а затем возвращается. С точки зрения аналитика DfE затраты на предоставление услуги, включая транспортировку, относятся на счет предоставляющего услугу, в то время как те, что связаны с предприятием, относятся на счет предприятия, где эта услуга оказывается.

Экологическая ответственность за предоставление бета-услуги оценивается так же, как и альфа-услуги, но бета-услуги требуют внешнего места, где они оказываются. Единственное принципиальное отличие — это этап 3а на рис. 21.2: оказание услуги осуществляется там, где находится клиент, поэтому воздействия на окружающую среду, связанные с транспортировкой, должны быть включены в оценку этапа 3а.

### 21.1.3 ГАММА-УСЛУГИ: ОКАЗАНИЕ УСЛУГИ НА РАССТОЯНИИ

Появление новых технологий в последние годы сделало возможным возникновение нового класса услуг: гамма-услуги не требуют, чтобы клиент шел к услуге и не идут к нему сами (табл. 21.2). Услуга обеспечивается с помощью электронных средств, например банковские услуги по телефону. В их более широкой реализации гамма-услуги дают возможность полностью осуществлять деятельность с минимальными физическими перемещениями, посредством компьютеров, телефонов, факс-аппаратов, модемов и соответствующего программного и аппаратного обеспечения.

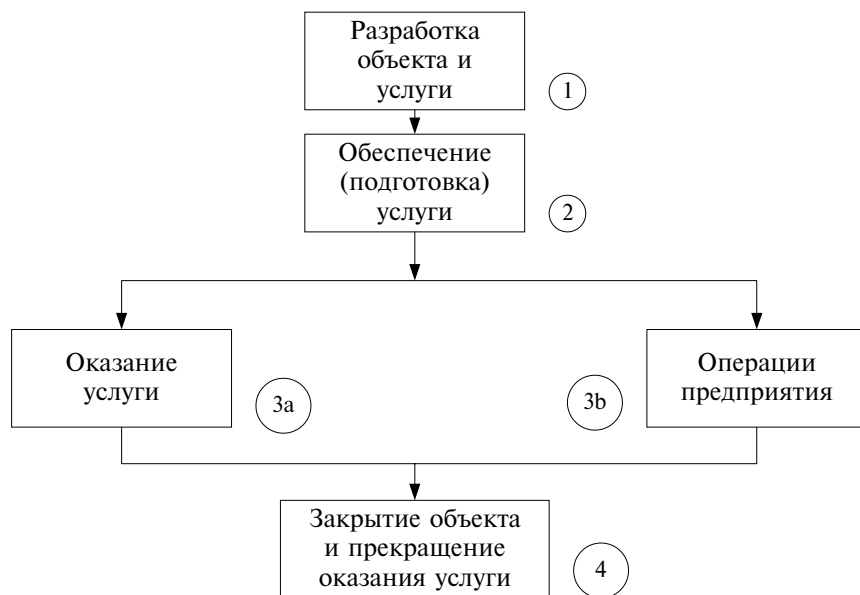


Рис. 21.2

Этапы жизненного цикла услуги

Как и с другими видами услуг, желательно знать, как оптимизировать гамма-услуги с точки зрения охраны окружающей среды. Гамма-услуги характеризуются тем, что, хотя и не существует прямого физического контакта с покупателем, выполнение услуги неизбежно требует, чтобы аппаратное обеспечение и поддерживающий персонал были размещены на объекте пред-

приятия, оказывающего услуги. В оценке гамма-услуги, таким образом, три этапа жизненного цикла относятся к самому предприятию: (1) этап жизненного цикла 1 — выбор места, развитие и инфраструктура; (2) этап жизненного цикла 3b — операции предприятия; (3) этап жизненного цикла 4 — починка, перемещение и закрытие. Другие два этапа жизненного цикла относятся к оборудованию, используемому для обеспечения этой услуги: (4) этап жизненного цикла 2 — характеристики оборудования DfE и (5) этап жизненного цикла 3a — операции оборудования. В дополнение этап 3a включает экологические последствия взаимодействия с клиентом — потребление энергии, предоставление клиентских услуг и т. д.

## 21.2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСЛУГ

Все услуги функционируют на технологических платформах: образовательные услуги требуют школьных зданий, электронная торговля требует транспортных сетей, дистанционная работа требует информационных инфраструктур. В сущности услуги имеют тенденцию быть немного более капиталоемкими на одного работающего, чем производство (рис. 21.3). Например, рассмотрим поставку Интернет-услуг. Требуется не только физическая сеть со всеми ее операциональными воздействиями (рис. 21.4), но и оборудование, связанное с этой сетью, например компьютеры, которые оказывают воздействие на окружающую среду, связанное с их производством, использованием, а также этапами конца жизненного цикла. Например, простая стеклянная панель рабочей станции состоит из множества различных оксидов, некоторые из них редкие и/или потенциально опасные (табл. 21.3).

Оценивание воздействий на окружающую среду сектора услуг — задача сложная из-за большого разнообразия видов экономической деятельности, которые попадают в категорию услуг. Например, работа крупного супермаркета довольно сильно отличается от работы сети «фаст фуд». И оба эти вида услуг, ориентированные на питание, очевидно, отличаются от управления больницей, работы спутниковой системы телефонной связи или управления банком.

Эти примеры иллюстрируют сложный вопрос определения границ. На уровне производственных операций или даже продуктов установление границ для оценок жизненного цикла относительно просто. Но понимание того, что является границей для услуг, гораздо сложнее. Рассмотрим, например, оценку крупного пассажирского авиалайнера. Методы, которые позволили бы провести оценку жизненного цикла самолета как продукта производства, могут быть применены непосредственно. Но оценка самолета как единицы услуг гораздо более сложная. Самолеты обеспечивают более высокие темпы туризма, что, в свою очередь, оказывает растущее давление на пункты назначения, в особенности если они экологически уязвимы, требуя места для проживания, воду, энергию и местный транспорт. Какую долю этой деятельности следует приписать самолету или, напротив, не приписывать? Входит ли этот продукт производства в соответствующую систему промышленной экологии или в нее входит индустрия туризма, важную часть которой составляет продукт производства — авиалайнер.

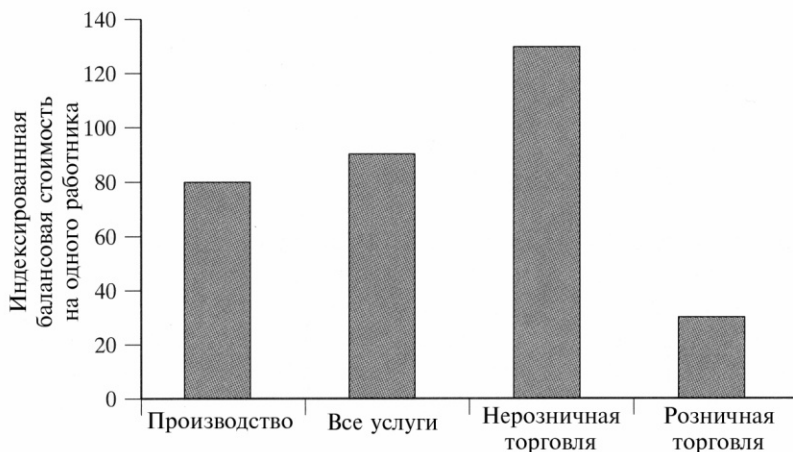


Рис. 21.3

Капиталоемкость в расчете на одного работника сферы услуг, в противоположность производственной деятельности, имеет тенденцию быть немного выше, в особенности в нерозничных секторах. Хотя такие показатели не определяемы количественно из-за сложности измерения услуг в большинстве экономических систем, они предостерегают от наивного представления, что услуги обязательно менее ресурсоемкие, чем производственные системы или системы продажи продуктов производства

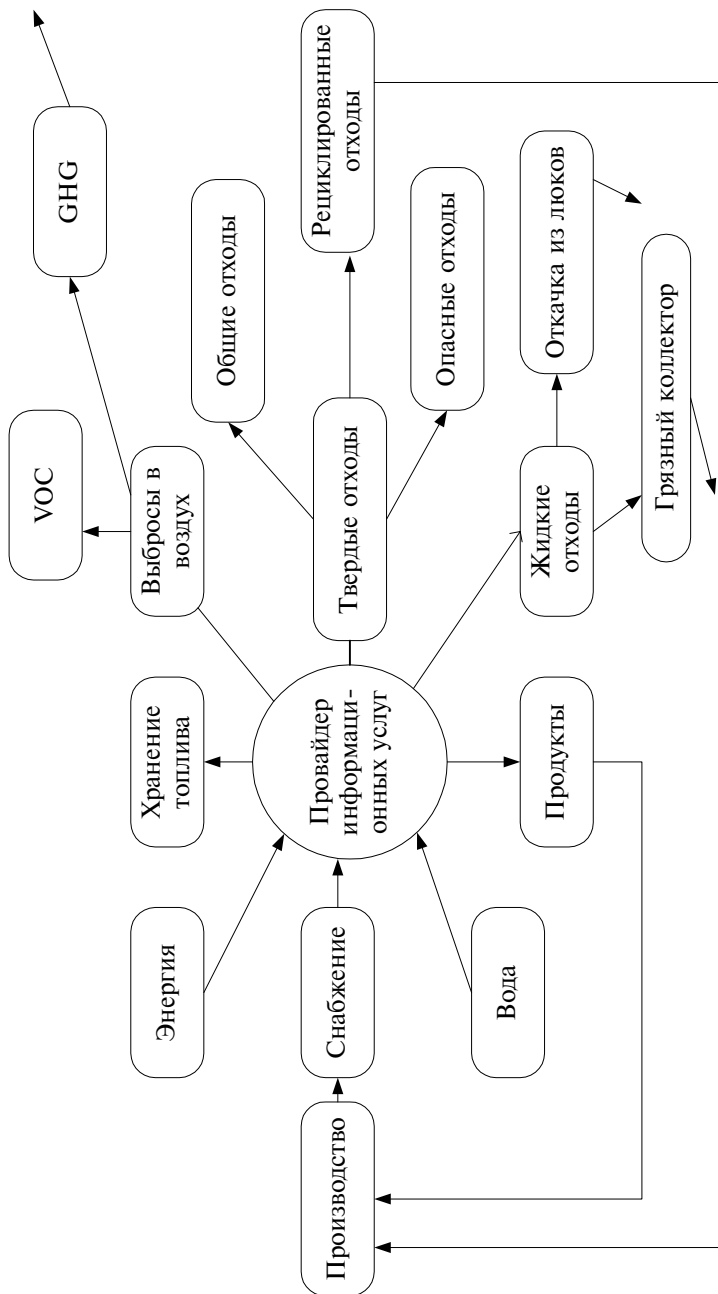


Рис. 21.4

Информационные сети, обслуживаемые телекоммуникационными компаниями, поддерживают многие экологически предпочтительные услуги, такие, как дистанционная занятость, но оказывают свои собственные воздействия на окружающую среду (Адаптировано из *Annual Report*, London: British Telecom, 1997.)

Хотя воздействия услуг на окружающую среду значительны, услуги также могут обеспечивать возможность непрерывного улучшения экологических показателей. Это возникает из-за того, что услуга может не только потенциально обеспечивать улучшения внутри самой фирмы, оказывающей услуги, но также может быть использована для сокращения воздействий экономической деятельности как целого на окружающую среду.

ТАБЛИЦА 21.3 Диапазон состава стекла панели рабочей станции (массовое содержание, %)

SiO <sub>2</sub>	60—65
SrO	8—12
Na <sub>2</sub> O	7—12
K <sub>2</sub> O	8—10
BaO	2—10
PbO	0—3,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4—2,8
CaO	2,0—3,0
CeO	0—2,5
ZrO <sub>2</sub>	0—1,8

Например, дистанционная занятость. Фирмы, которые обеспечивают инфраструктуру для дистанционной занятости, определенно могут сократить свое экологическое воздействие, используя свои собственные услуги, но это относительно малая доля экологического потенциала услуги. Реальные выгоды приходят тогда, когда услуги дистанционной занятости используются во всей экономике, генерируя, таким образом, потенциал для непрерывного улучшения экологической эффективности гораздо больший, чем сама услуга.

### 21.3 ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ ФИРМ, ПРЕДОСТАВЛЯЮЩИХ УСЛУГИ

За исключением правительственных услуг большинство услуг предлагаются фирмами, которые отделены от фирм, производящих поддерживающие технологии. С точки зрения промышлен-

ной экологии эти фирмы, предоставляющие услуги, могут выполнять пять экологически важных ролей:

- 1 оказание влияния на поставщиков для улучшения экологической эффективности цепи поставок;
- 2 обучение потребителей;
- 3 стимулирование экологически предпочтительного использования ресурсов и использования продуктов;
- 4 замена использования материалов и энергии менее экологически напряженными услугами;
- 5 изменение доминирующего источника повышения качества жизни от собственности и потребления продуктов к потреблению услуг.

### 21.3.1 ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОСТАВЩИКОВ

Эволюция экономики услуг привела к тому, что значимость многих фирм сферы услуг сильно выросла по сравнению со значимостью их поставщиков, что дало им существенный рычаг воздействия на экологические показатели цепей поставок. В розничном секторе, например, фирмы масштаба Walmart, Office Depot или Staples могут побудить или потребовать, чтобы их поставщики использовали методы, соответствующие требованиям охраны окружающей среды. Теоретически то, что делают поставщики этими действиями — это интернализация экстерналий. То есть, интегрируя новые требования, основанные на экологических критериях, в практику своих закупок, они привносят в экономику издержки и выгоды, которые ранее не были ее частью. В этой связи ряд крупных транснациональных фирм, которые продают в розницу пиломатериалы и продукты деревообработки, начали требовать экологической сертификации продукции своих поставщиков, частично для того, чтобы публично продемонстрировать свой вклад в охрану окружающей среды.

Фирмы, оказывающие услуги, должны с вниманием использовать этот рычаг. Большинство фирм, оказывающих услуги, не являются экспертами в технологических или экологических проблемах, связанных с продуктами, которые они используют в процессе оказания своих услуг, и, таким образом, плохо оснащены для того, чтобы давать определенные рекомендации по поводу проектирования продуктов. Лучший выход во многих



случаях — требовать, чтобы в процессе проектирования поставщики использовали методологию LCA и DfE и выбирать варианты, которые улучшают собственные экологические показатели фирмы — другими словами, следует расширять экологическую осведомленность поставщиков, а не пытаться управлять конструкцией продукта на микроуровне. Кроме того, фирмы услуг могут реализовать структурные изменения в своих взаимодействиях с поставщиками, которые поощряют экологически предпочтительное проектирование. Например, крупная телекоммуникационная фирма может купить переключатели и маршрутизаторы у поставщика при условии, что поставщик забирает продукты обратно, когда в них перестанут нуждаться, ремонтирует их или надлежащим образом от них избавляется.

### **Кооперативное сокращение упаковки**

Объем упаковки и ее воздействия на окружающую среду представляют постоянную проблему для фирм сферы услуг. Для решения этой проблемы Sears Roebuck & Co работали с 2300 своими поставщиками в целях сокращения объема и типов упаковки. Компания предложила четыре цели: (1) сокращение объема и веса упаковочного материала продукта по крайней мере на 10%; (2) увеличение использования рециклированного материала в гофрированных контейнерах до 25%; (3) увеличение использования рециклированных материалов в пластиковых контейнерах до 20%; и (4) использование материалов с наивысшим содержанием вторично переработанных материалов, возможно, в других типах упаковки. В конце двухгодичной программы объем упаковки на складах Sears сократился в целом более чем на 25%, были сокращены текущие издержки транспортировки упаковки и сократились воздействия на окружающую среду.

Адаптировано из *The Role of the Retailer in Sustainable Production and Consumption*, Geneva: World Business Council on Sustainable Development, 1996

### **21.3.2 ОБУЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Многие фирмы, оказывающие услуги, служат посредниками между потребителями и лежащими в основе их деятельности технологиями. Розничные торговцы могут поместить экологиче-

скую и медицинскую информацию на упаковке, а также рассказать об этом на презентациях своих товаров; финансовые институты могут предложить более низкий процент и техническую поддержку заемщикам, которые используют экологически предпочтительные системы управления, а телекоммуникационные фирмы могут побудить своих покупателей использовать электронные, а не бумажные расчеты. Аналогично фирмы электронной коммерции «бизнес—потребителю» могут включить несколько предложений в свои бланки заказов для того, чтобы выбор наземного транспорта и еженедельная доставка (в противоположность воздушным перевозкам и двухдневной доставке) могли минимизировать потребление энергии при доставке пакетов. Это сохраняет потребительский выбор, информируя покупателей о некоторых экологических последствиях их потребления.

### **21.3.3 СТИМУЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ И ПРОДУКТОВ**

Когда переходят от предложения продукта к предложению услуги, связанной с продуктом, новый подход часто изменяет структуру стимулов так, чтобы способствовать потреблению экологически предпочтительных ресурсов и использованию экологически предпочтительных продуктов. Этот переход может произойти, даже когда причины этого перехода исключительно экономические. Хорошим примером могут служить операции покраски в процессе производства автомобиля. Традиционно компании, производящие автомобили, покупали краску у поставщиков и окрашивали машины самостоятельно. В модели, более ориентированной на услуги, поставщик краски управляет и материалами и операциями по выпуску окрашенного корпуса для производителя автомобилей. Другими словами, вместо того чтобы просто продавать краску, производитель продает услугу покраски автомобилей. Производитель автомобилей, в свою очередь, платит не за использованную краску, а за число окрашенных корпусов. С точки зрения производителя выгоды включают более высокую эффективность, меньшие издержки на единицу и более высокое качество операций по покраске (сообщают, что внедрение такого порядка оказания услуг на сборочном

заводе Belvedere Neon фирмы Chrysler сохранило более миллиона долларов за первый год, — сумма, которую поделили производитель автомобилей и поставщик краски). С точки зрения поставщика краски выгоды включают не только полученную прибыль, но также конкурентное преимущество: поскольку оказание услуги—процесс более сложный, чем просто продажа краски, требующий более тесных связей между производителем автомобилей и поставщиком краски, менее вероятно, что производитель изменит поставщиков.

Ни одна из этих выгод не затрагивает открыто экологических вопросов, но окружающая среда выигрывает от изменения стимулов. Когда поставщик делает свои деньги, основываясь единственно на объеме продуктов, которые он поставляет, у него есть стимул поставить их как можно больше. По старой модели поставщики краски предпочитали, чтобы автомобильные компании использовали их товар неэффективно. В новой системе, однако, поставщик краски напрямую получает долю прибыли, которая образуется при уменьшении расхода краски на одну машину, минимизации отходов и их токсичности (и, таким образом, издержек управления) и разработке максимально функциональных покрытий. С системной точки зрения эти экологические эффекты возникают в результате того, что была устранена несоответствующая граница, проведенная между проектированием и производством краски и ее приложением в производственной среде.

#### **21.3.4 ЗАМЕНА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ И МАТЕРИАЛОВ УСЛУГАМИ**

В некоторых случаях можно заменить услугами существующие виды деятельности, включающие высокие уровни использования материалов и энергии, сокращая таким образом воздействие на окружающую среду в расчете на единицу качества жизни. Возможно, наиболее известные примеры включают замену информационными услугами различного рода физических продуктов или энергоемких видов деятельности, например передвижения на личном автомобиле. Так, дистанционная занятость заменяет домашним офисом и информационной технологией путешествия и коммерческое офисное пространство. В особенности

там, где перемещение включает использование персональных автомобилей для долгих поездок в условиях высокой перегруженности магистралей, экологические выгоды могут быть значительными.

Во многих случаях оказывается, что качество жизни улучшается в результате замены услугами. Например, у AT&T есть большой штат дистанционных сотрудников — по крайней мере 25% его менеджеров работают дистанционно хотя бы раз в неделю, в том числе 10% в виртуальных офисах, где они постоянно работают с домашнего компьютера. Опросы показывают, что такие работники более довольны своей работой и более продуктивны, чем те, кто постоянно работают в офисе. Не только они сами, но и их семьи также больше удовлетворены структурой работы. Поэтому надо по крайней мере в некоторых случаях рассматривать услуги как замену чего-то другого; услуги могут на самом деле быть значительным улучшением статус-кво.

### **21.3.5 УСЛУГИ КАК ИСТОЧНИК ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ**

В то время как услуги становятся все более важным компонентом глобальной экономики, они неизбежно становятся более значительным источником повышения качества жизни. Хотя, очевидно, возможности насыщения экономики услугами ограничены — материальные и энергетические потоки должны, по определению, оставаться основой любой физической системы, — такой процесс имеет значительные потенциальные выгоды. В особенности, поскольку услуги становятся средоточием осознаваемого качества жизни, становится возможным манипулировать лежащей в основе технологией такими способами, которые не были возможны ранее. Центр внимания покупателя смещается с атрибута продукта на атрибут услуги, которая в свою очередь может на стадии разработки обеспечить разработчика продукта бóльшим числом степеней свободы и, отчасти, привести к экологически более эффективным продуктам. Например, в уже устаревшей сегодня модели национальных телефонных монополий большинство компаний поставляли телефоны и другие продукты на условиях аренды. Так, покупатель покупал использование телефона, а не сам телефон, и если телефонный аппарат

ломался, его просто обменивали на другой. Аппараты чинили и рециклировали, иногда десятилетиями.

Продукт, который разработан для среды услуг, обычно будет отличаться от продукта, разработанного для производства и продажи. В особенности там, где возврат продукта относится к услугам, издержки, которые могли бы ранее быть внешними для производителя (и проектировщика) продукта, теперь интернализируются в этой фирме и со временем влияют на проектирование продукта. Вместо небольших первоначальных затрат, например, затраты фирмы должны включать такие элементы, как обратные системы логистики (чтобы получить продукт обратно), издержки на демонтаж, ремонт или рециклирование продукта, его деталей или его материалов. Эта эволюция продукта от продукта отдельно стоящего до находящегося в сфере услуг в большинстве случаев приводит к более высокой экологической эффективности.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Chemical Strategies Partnership, *Chemical Management Services: Industry Report 2000*, San Francisco: Chemical Strategies Partnership, 2000.

Davies, T. and D.M. Konisky, *Environmental Implications of the Foodservice and Food Retail Industries*, Discussion Paper 00-11, Washington, DC: Resources for the Future, 2000.

Davies, T. and A.I. Lowe, *Environmental Implications of the Health Care Service Sector*, Discussion Paper 00-01, Washington, DC: Resources for the Future, 2000.

Goedkoop, M.J., C.J.G. van Halen, H.R.M. te Riele, and P.J.M. Rommens, *Product Service Systems: Ecological and Economic Basics*, commissioned by the Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ) from PricewaterhouseCoopers N.V./PiMC. 1999.

Graedel, T.E.. The life-cycle assessment of services, *Journal of Industrial Ecology*, 1 (4), 57–70, 1998.

Lifset, R., Moving from products to services, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (1), 1–2, 2000.

Reiskin, E.D., A.L. White. J.K. Johnson, and T.J. Votta, Servicizing the chemical supply chain, *Journal of Industrial Ecology*, 3 (2,3). 19–31, 2000.

Rejeski, D., An incomplete picture, *The Environmental Forum*, 14 (5), 26–34, 1997.

World Business Council for Sustainable Development, *The Role of the Retailer*, Geneva, 1998.

## **УПРАЖНЕНИЯ**

- 21.1** Выберите знакомое вам предприятие сферы услуг (возможно, поскольку вы работали там и помогали оказывать услуги или вы просто часто пользуетесь этой услугой). Классифицируйте услугу как альфа-, бета- или гамма- и опишите оказываемую услугу и процесс, посредством которого она оказывается.
- 21.2** Какие рекомендации вы бы дали по улучшению экологических свойств предприятия, выбранного в Упражнении 21.1? Как бы вы определили приоритет рекомендаций, которые вы даете, и почему?
- 21.3** Клиника может отслеживать состояние пациентов с нарушением сердечной деятельности либо если они посещают клинику раз в неделю, либо давая каждому пациенту электронный прибор, с помощью которого они могут передавать данные в клинику, не выходя из дома. Предположим, что медицинское обслуживание одинаково. Обсудите экологические преимущества и недостатки этих двух вариантов.

ЧАСТЬ **V**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ  
ЭКОЛОГИЯ  
СИСТЕМНОГО  
УРОВНЯ**

## Г Л А В А 22

# Промышленные экосистемы

### 22.1 КОНЦЕПЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ

В главе 4 мы исследовали отношение биоэкологии к технологии с точки зрения организмов (производственных предприятий) и популяций (семейств продуктов). Мы продемонстрировали, что инструменты биоэкологии (БЭ) могут помочь промышленной экологии (ПЭ) в таких областях, как изучение использования ресурсов, эффективность производства и продуктовый синергизм. Центром внимания был отдельный организм или группа организмов.

Следующий иерархический уровень, который необходимо рассмотреть — экосистема. В БЭ экосистема состоит из взаимодействующих частей физического и биологического миров. По аналогии промышленная экосистема состоит из взаимодействующих частей технологического и нетехнологического миров. Взаимодействие между компанией экосистемы обычно включает перенос ресурсов, часто способами или путями, которые нельзя было бы ожидать интуитивно. Такая структура строится на понятии пищевой цепи, представленном в гл. 4.

Пищевые цепи подразумевают линейный поток ресурсов от одного трофического уровня к следующему (рис. 22.1, а). В такой конструкции взаимодействия между видами просты. Однако никакая система потоков ресурсов в БЭ не следует этой простой структуре; они гораздо больше напоминают сетевую структуру (рис. 22.1, б). Здесь виды на одном трофическом уровне питаются несколькими видами на следующем, более низком уровне и широко распространена всеядность (рис. 22.1, с). Наконец, полностью определенная пищевая сеть может продемонстрировать различные особенности: множество трофических уровней, хищничество и всеядность (рис. 22.1, d).

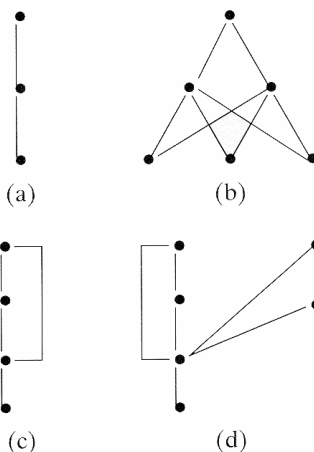
Анализ пищевой сети имеет две важные цели: изучить потоки ресурсов в экосистемах и проанализировать экосистемы с точки зрения динамических взаимодействий. Поэтому создание диаграммы пищевой сети — это прелюдия к определению возможностей рассматриваемого ресурса. По сути определяются



организмы, им приписываются трофические уровни и устанавливается их взаимодействие. Затем изображается пищевая сеть и анализируются потоки ресурсов и устойчивость.

Рис. 22.1

Диаграммы пищевых цепей и пищевых сетей. Точки обозначают виды, линии обозначают взаимодействия. Более высокие виды являются хищниками по отношению к более низким, поэтому ресурсы текут снизу вверх. Виды и темпы взаимодействий изменяются со временем. (a) Цепь питания в трехуровневой трофической системе. (b) Сеть питания в трехуровневой трофической системе. (c) Всеядность в цепи питания. (d) Сеть питания, охватывающая несколько трофических уровней, хищничество и всеядность



В БЭ многие (но определенно не все) пищевые сети имеют большое количество первичных производителей, меньше потребителей и совсем немного высших хищников, что придает сети форму, приведенную на рис. 22.1, b. Всеядные в этих системах могут быть редки, в то время как редуценты находятся в изобилии. Модели пищевых сетей обеспечили потенциальную основу для плодотворного анализа потоков ресурсов как в БЭ, так и в ПЭ. Сложности возникают, однако, когда пытаются количественно определить потоки ресурсов и подвергнуть структуру сети и свойства стабильности математическому анализу. Оказывается, что многие из необходимых данных трудно выявить с определенностью, особенно в том, что касается организмов, которые функционируют более чем на одном трофическом уровне. Это свойство создает не основную сложность исследований потоков ресурсов, но оно серьезно усложняет анализ стабильности. Утверждение, что более сложные системы являются более стабильными — поскольку разрушение одного вида или путей потоков просто переводит энергию и ресурсы на другие пути, а не блокирует путь для всего потока энергии или ресурсов — пока горячо обсуждается.

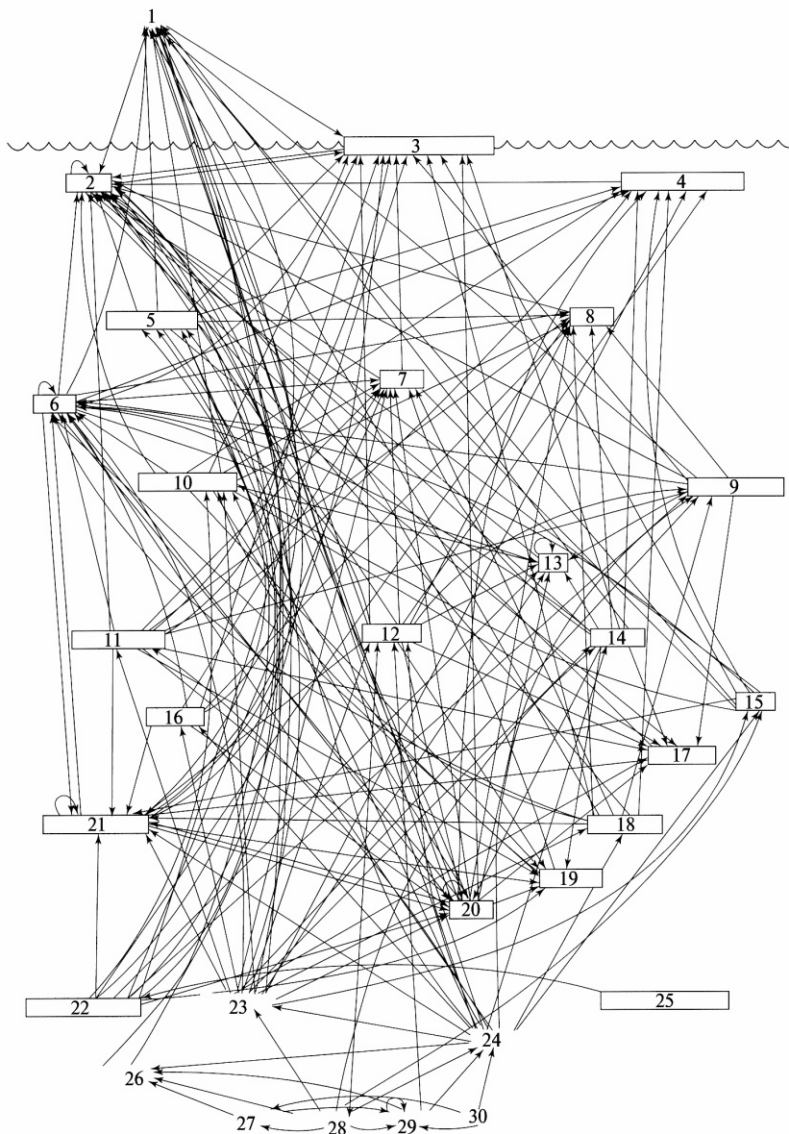


Рис. 22.2, а

Пищевая сеть для морской экосистемы Бенгелы на юго-западном побережье Южной Африки (P.A. Abrams, V.A. Menge, G.A. Mittelbach, D.A. Spiller, and P. Yodiz, The role of indirect effects in food webs, in *Food Webs*, G.A. Polis and K.O. Winemiller eds., New York: Chapman & Hall, 371–395, 1996.)

Исследования пищевых сетей в БЭ часто концентрировалось вокруг вопроса: как отреагирует экосистема на воздействие определенного типа и силы? Воздействием может быть заражение паразитами, потеря обычного источника питания или природный катаклизм. Некоторые считают, что экосистема с умеренной частотами и интенсивностью нарушений может быть наиболее стабильной; это мнение вполне соответствует тому, что мы знаем о промышленных экосистемах.

Пищевые цепи формируются как своевременные ответы на локальную доступность и желательность ресурсов. Пример биологической системы показан на рис. 22.2,а, где 1 — птицы; 2 — акулы; 3 — южноафриканские тюлени; 4 — киты и дельфины; 5 — другие пелагические; 6 — хек; 7 — барракуда; 8 — тунец; 9 — скумбрия; 10 — ставрида; 11 — сельдь-круглобрюшка; 12 — анчоус; 13 — водяная антилопа; 14 — сардина; 15 — бычок; 16 — светящиеся рыбы; 17 — желтохвост; 18 — рыба-фонарь; 19 — гилбек (Geelbeck); 20 — головоногие; 21 — другие донные рыбы; 22 — донные хищники; 23 — макрозоопланктон; 24 — мезозоопланктон; 25 — донные фильтрующие; 26 — студенистый зоопланктон; 27 — бактерии; 28 — фитопланктон; 29 — микрозоопланктон; 30 — детрит. На этой диаграмме положение популяций отражает их нормальное размещение по отношению к поверхности океана. Стрелки показывают направление потоков ресурсов от одной популяции к другой. Такие диаграммы часто строят с самым нижним трофическим уровнем внизу и консументом высшего порядка наверху; если настоящая система была бы изображена так же, она бы была, по диктату морских сред, довольно похожей. Даже без этого представления очевидно, что всеядность распространена: анчоусами питаются все — от макрели до тюленей.

Рис. 22.2, б показывает промышленную пищевую сеть для потока меди между отраслями в регионе Бостона. Названная автором «диаграмма спагетти», она только так выглядит, ее можно нарисовать по-другому, аналогично примеру БЭ, что мы и делаем на рис. 22.2, с.

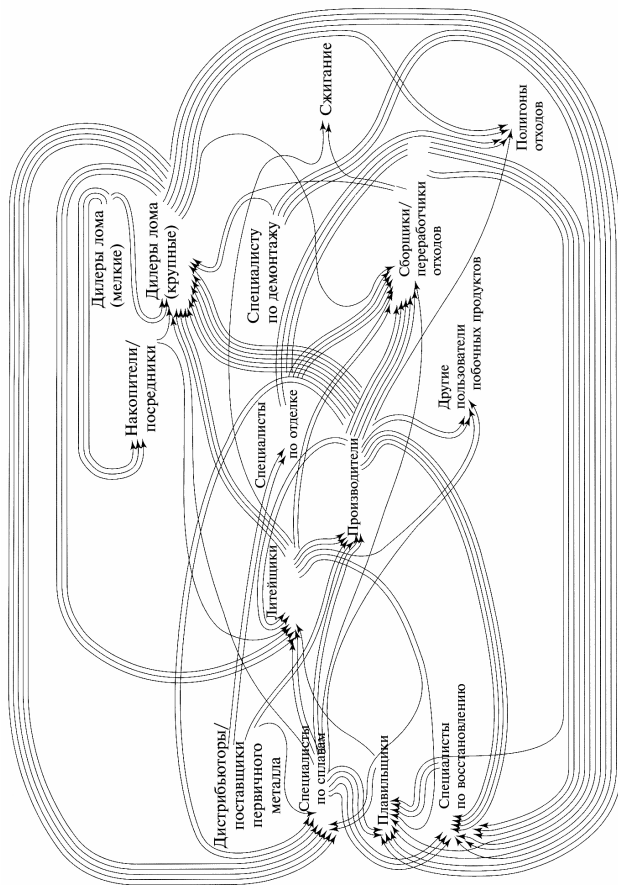


Рис. 22.2, б

Графическое представление промышленно-пищевой сети. Каждая кривая представляет одну совокупность транзакций между категориями опрашиваемых фирм. Например, транзакции фирмы, которая могла бы направить свои отходы четырем компаниям, перерабатывающим отходы, показаны здесь одной кривой. Аналогично фирма, которая могла бы сделать закупки у трех литейщиков, также получает одну кривую для этих транзакций. Объемы потоков на этой диаграмме не показаны. Также не показаны потоки к потребителям и от потребителей промышленных товаров, равно как и летучие выбросы в атмосферу, воду и почву (A.D. Sagar and R.A. Frosch, A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem, *Journal of Cleaner Production*, 5, 39—45, 1997.)

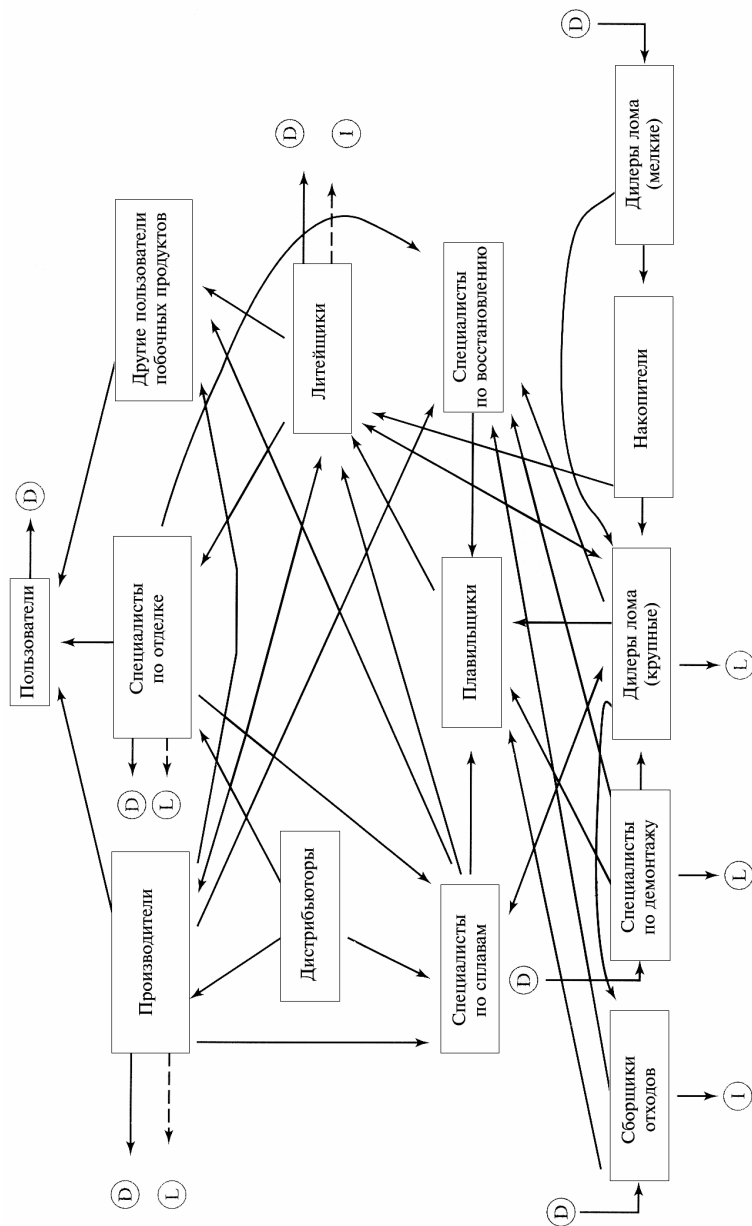


Рис. 22.2, с  
Промышленная пищевая сеть рис. 22.2, b, изображенная, как это принято в биоэкологии: с нижним трофическим уровнем внизу и высшим сверху. D — детрит, L — потери на свалке, I — потери на сжигании

## 22.2 ПРОМЫШЛЕННЫЙ СИМБИОЗ

Симбиоз в биологической экологии (БЭ) встречается нередко. Это тесная ассоциация двух видов ради выгоды либо одного из них (паразитический симбиоз) либо для обоих (взаимозависимый симбиоз). Симбиоз БЭ обычно включает долгий период совместного развития. Эта концепция может быть применена также и к технологическим системам, но разница заключается в том, что симбиоз в ПЭ может возникнуть спонтанно или может быть запланирован. Планируемый промышленный симбиоз, по-видимому, подает надежды развивающимся промышленным экосистемам, которые в экологическом плане значительно превосходят незапланированные.

Мэриан Чертю (Marian Chertow) из Yale University назвала такие системы «экоиндустриальными парками» (*eco-industrial parks, EIP*) и подразделяет их на пять типов, описанных ниже.

1. EIP 1-го типа: обмен отходами.

В этих ситуациях восстановленные материалы отдаются безвозмездно или продаются другим организациям. Некоторые из обменов носят неформальный или случайный характер, в то время как другие совершаются через сети обмена отходами. Распространенный пример — пункт приема автомобильного лома, где восстанавливаются и продаются автодетали, готовятся металлический корпус и шасси для рециклирования. Однако эти взаимодействия в сущности не запланированы, так что обмена ресурсами недостаточно для того, чтобы считать EIP 1-го типа примерами промышленного симбиоза.

2. EIP 2-го типа: в рамках предприятия, фирмы или организации.

Здесь материалами или продуктами обмениваются в границах отдельной организации, но между различными организационными подразделениями. Это распространенный подход к проектированию, например, нефтехимических комплексов, где побочный продукт одного химического процесса служит сырьем другого.

3. EIP 3-го типа: между расположенными рядом фирмами в определенной промышленной зоне.

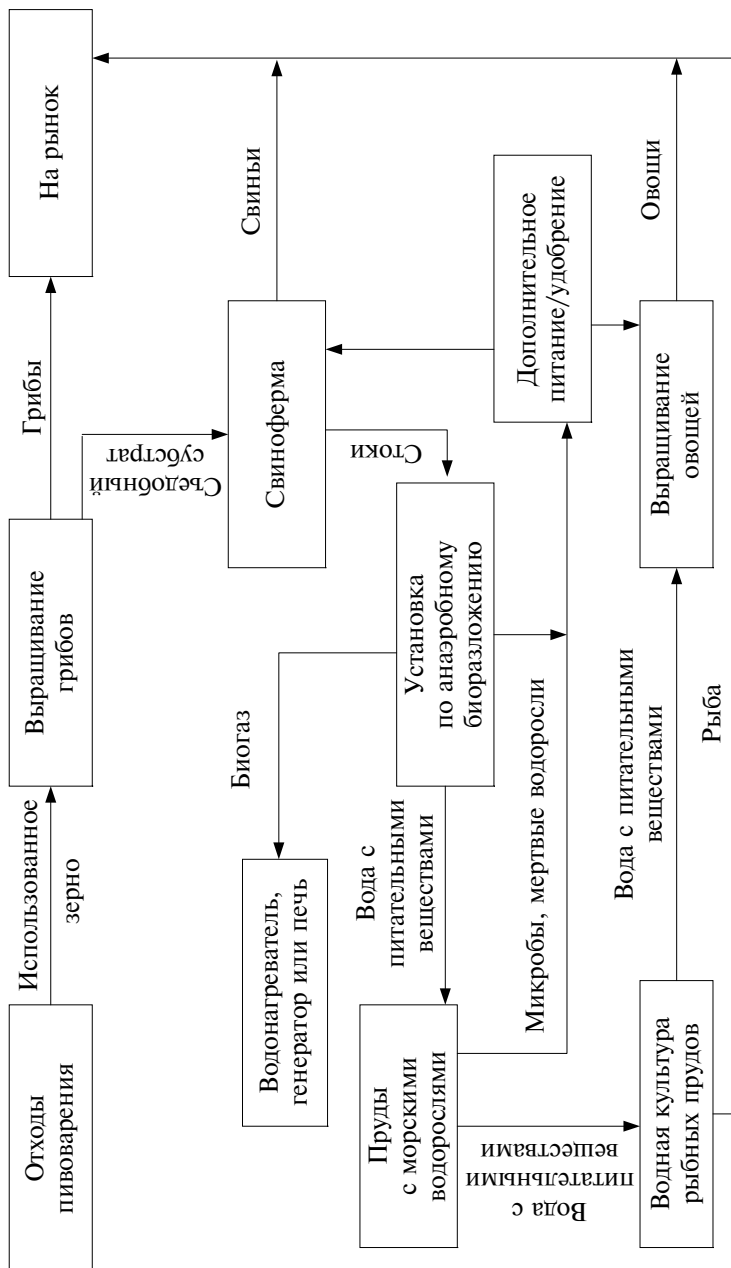


Рис. 22.3  
Потоки ресурсов в интегрированной биосистеме Монфорт Бойз Таун в Суве, Фиджи

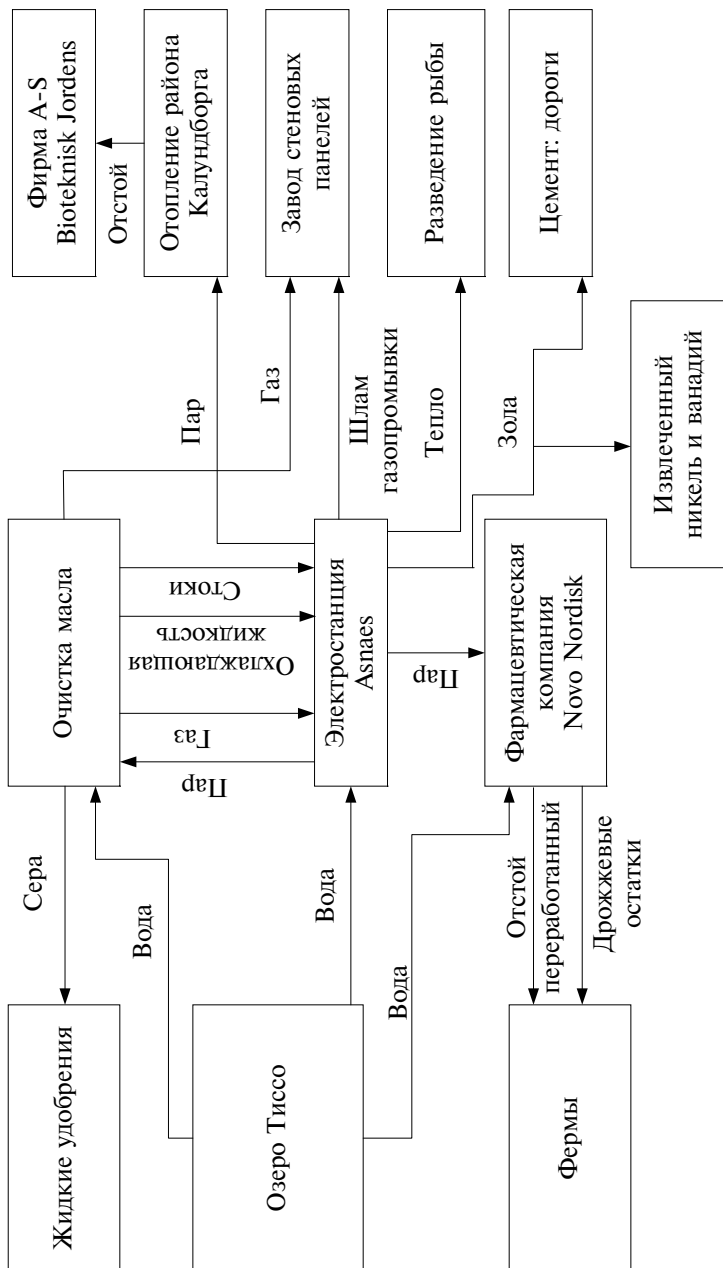


Рис. 22.4  
Потоки ресурсов в экоиндустриальной системе в Калундборге, Дания



Организации, расположенные близко друг к другу, возможно, в промышленном парке, организуются так, чтобы обмениваться энергией, водой и материалами. Пример такой системы — Monfort Boys Town в Суве, Фиджи (рис. 22.3). Здесь отходы пивоварения обеспечивают создание ЕІР, включающего выращивание грибов, разведение свиней и рыбы и овощное хозяйство.

4. ЕІР 4-го типа: между организациями, не расположенными в непосредственной близости.

Примером системы 4-го типа может служить Калундборг (Kalundborg), Дания, в котором несколько фирм в радиусе 3 км обмениваются паром, теплом, золой, серой и рядом других ресурсов (рис. 22.4). Не сформированный как ЕІР, Калундборг стал им, образовав ряд «зеленых объединений», каждое из которых было экономически выгодным.

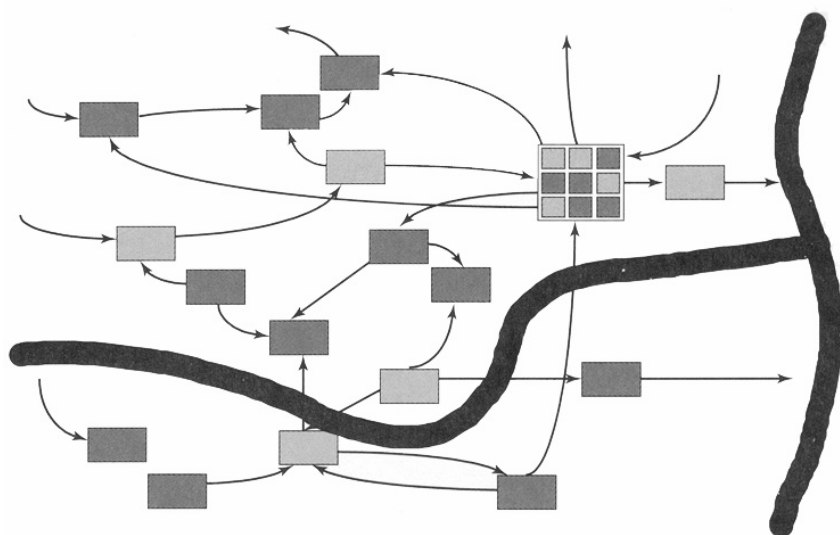
5. ЕІР 5-го типа: между фирмами, организованными в регионе. В принципе сюда можно включить любые или все типы ЕІР, описанные выше. Чтобы ЕІР 5-го типа был успешным, а ни один пока не был реализован, возможно, потребуется активная управленческая организация для определения дополнительных возможностей объединения и вовлечения потенциальных промышленных партнеров.

Как можно видеть, направления типологии ЕІР эволюционны, не статичны. Например простые системы 1-го типа могут со временем стать системами 4-го или 5-го типа. Разумеется, ЕІР могут быть разработаны сознательно, часто вокруг ключевого арендатора (например, электростанции), который может быстро начать процесс обмена ресурсами со многими потенциальными промышленными партнерами.

## 22.3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИМБИОТИЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Как можно разработать эффективную промышленную экосистему? Кажется очевидным, что в такой системе должно быть широкое отраслевое и пространственное распределение участников, она должна быть гибкой и инновационной. Вероятно, будут включены некоторые типа ЕІР. Эта концепция показана на рис. 22.5. Система иллюстрирует компоненты 3-го, 4-го и 5-го типов и вероятно, что в такой системе будут также происходить взаимодействия 1-го и, возможно, 2-го типа.

Ключом для эффективного широкомасштабного ЕІР служит высокая степень синергии между входными и выходными потоками ресурсов. БЭ полезна здесь в обеспечении некоторых статистик для анализа пищевых сетей. Простейшая — богатство видов (*S*): число различных типов организмов, содержащихся внутри системы. Вторая — связанность (*C*), полученная в результате построения матрицы сообщества, как показано в табл. 22.1 для сети рис. 22.1,б. В таблице единица соответствует каждому потребителю, который получает ресурсы от данного производителя. Если передачи ресурсов не происходит, ставится ноль.



MH6M1430R 41

Рис. 22.5

Сценарий для экоиנדустриальной системы 5-го типа. Центральная система 3-го типа встроена внутрь, но большая часть ресурсообмена происходит на больших расстояниях. В этом представлении темные квадраты и прямоугольники обозначают существующие фирмы, светлые — фирмы, которые могут быть добавлены, чтобы улучшить связь

Затем вычисляется  $C$  по формуле

$$C = 2L/(S[S-1]), \quad (22.1)$$

где  $L$  — число ненулевых коэффициентов взаимодействий в матрице сообщества. Для экосистем в табл. 22.1 и на рис. 22,1b  $S = 6$  и  $C = 16/30 = 0,53$ .

Лишь несколько промышленных пищевых сетей были проанализированы этим способом, но те, которые были, включают системы, изображенные на рис. 22.2,с, 22.3 и 22.4. Когда у этих сетей и 16 других была вычислена связанность, оказалось, что их среднее очень близко к показателю для биологических систем (рис. 22.6). Этот результат удивляет, поскольку по ряду причин можно было бы ожидать, что  $C_{IE} < C_{BE}$ :

- промышленные экосистемы находятся на более ранних этапах эволюции, чем биологические, и с развитием экосистемы связанность обычно растет;

- организмы БЭ обмениваются органическими веществами в приблизительно одинаковой химической форме. Однако организмы ПЭ имеют более широкие особенности питания — некоторым нужны нефтепродукты, некоторым — металлы, некоторым — продукты деревообработки. В такой системе несовпадения между исходящими потоками и потребностями в ресурсах действуют против высокой связанности.

Анализ большого числа промышленных пищевых сетей может, таким образом, выявить характеристики, не показанные в других подходах. В проекте экосистемы на рис. 22.5, например, сетевой анализ может отразить отсутствующий сектор или тип промышленной деятельности, который способен увеличить связанность. И наоборот, такие исследования могли бы помочь рассмотреть вопрос, который остается так же сложен для БЭ, как и для ПЭ: какова будет реакция конкретной экосистемы на конкретный тип возмущения? Эти темы дают богатую область для детальных исследований.

ТАБЛИЦА 22.1 Матрица сообщества для экосистемы на рис. 22.1b

Виды производителей*	Потребляющие виды					
	1	2	3	4	5	6
1	—	0	0	1	1	0
2	0	—	0	1	1	0
3	0	0	—	1	1	0
4	0	0	0	—	0	1
5	0	0	0	0	—	1
6	0	0	0	0	0	—

\* Виды на нижних трофических уровнях — 1, 2 и 3, виды на промежуточном уровне — 4 и 5, на высшем уровне — 6.

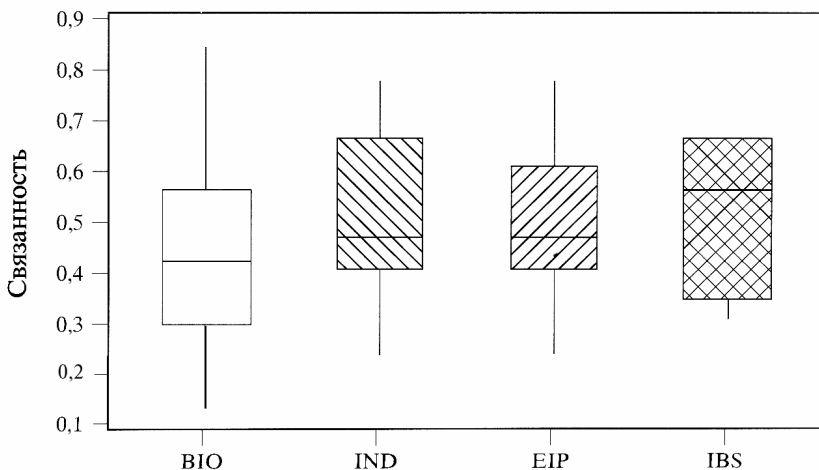


Рис. 22.6

Диаграммы связанности различных типов сетей питания. BIO = 113 биологических пищевых сетей; IND = 19 промышленных пищевых сетей, состоящих из 15 экоиндустриальных парков (EIP) и четырех интегрированных биосистем (IBS) (Биологические данные взяты из F. Briand and J.E. Cohen, *Environmental Correlates of food chain length*, *Science*, 238, 956–960, 1987; промышленные данные взяты из C. Hardy and T.E. Graedel, *Industrial ecosystems and food web theory*, *Journal of Industrial Ecology*, 6, in press, 2002.)

## 22.4 ПОТОК РЕСУРСОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Поток питательных веществ и энергии в отдельных организмах, как биологических, так и промышленных, был описан в гл. 4. Во многом подобным образом можно изучить потоки для целых экосистем. Версия БЭ показана на рис. 22.7,а. Здесь в системе II типа питательные вещества в значительной степени рециклируются, но поток энергии строго линейен. Система стабильна во времени, поскольку на временных шкалах сотен миллионов лет источник энергии — Солнце — неисчерпаем.

Диаграмма потока ресурсов для современной промышленной экосистемы I типа показана на рис. 22.7,б. Два различия между

этой системой и системой на рис. 22.7,а очевидны: система ПЭ *одновременно* линейна как по энергии, так и по питательным веществам, и энергия поступает на уровень как экстракотофа, так и трансформотофа. Система неустойчива во времени по двум причинам: (1) у нее в конечном итоге закончатся ресурсы первичных материалов и (2) в ней в конечном итоге закончится энергия, поскольку ее источники энергии в основном невозможны. Чтобы достичь полной устойчивости, промышленные экосистемы должны решить первую проблему путем полного рециклирования питательных веществ, а вторую — используя только возобновимую энергию; результатом была бы диаграмма на рис. 22.7,с. Роберт Фрош (Robert Frosch) предполагает, что наиболее важные компоненты реализуемости этого рециклирования — технология демонтажа (возможность разбирать продукты на части разными способами) и «неэнтропийная» технология; оба эти компонента серьезно не доработаны. В результате полностью реализуемая промышленная система III типа нереальна в настоящий момент, но это привлекательная цель, к которой следует стремиться.

Исследования потоков ресурсов сложно проводить в промышленных экосистемах, и это подтверждается примерами. Один, который помогает понять типичное поведение потоков, был разработан Полем Бруннером (Paul Brunner) и его коллегами для региона Сант-Галлена в северной Швейцарии. Общие потоки в системе показаны на рис. 22.8. Самый крупный входящий поток — вода, за ней следуют воздух и строительные материалы. Вода и воздух также преобладают над исходящими потоками. Очевидно, что это система I типа, в которой не происходит рециклирования в такой степени достаточно, чтобы его можно было показать. Особый интерес представляет то, что исходящие потоки меньше входящих; так, запас промышленных питательных веществ Сант-Галлена растет. Этот феномен был замечен в других исследованиях ПЭ потоков ресурсов и объяснен в основном как рост запаса строительных материалов в зданиях, автострадах и других структурах. В краткосрочном периоде этот рост запасов может не представлять проблемы. Однако это, очевидно, неустойчивая тенденция, и в некоторый момент отток запаса начнет уравнивать его рост.

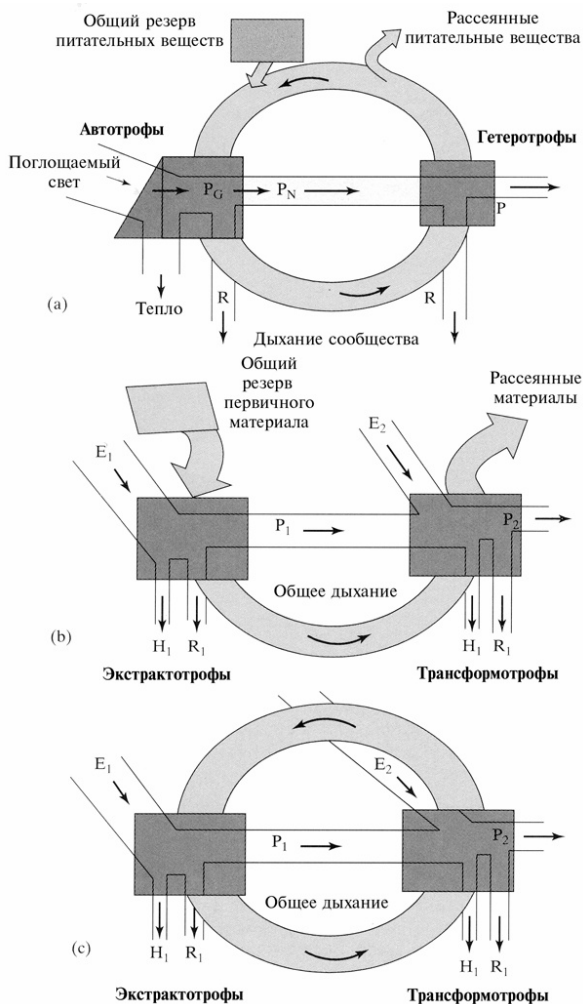


Рис. 22.7

(а) Потоки ресурсов в биологической экосистеме II типа. В такой системе поток энергии линейен, а поток питательных веществ цикличен,  $P_G$  — валовое производство,  $P_N$  — чистое производство,  $P$  — гетеротрофное производство,  $R$  — дыхание. Ширина полос служит грубым индикатором относительной величины потоков. (b) Потоки ресурсов в традиционной промышленной экосистеме.  $E$  — поступающая энергия,  $H$  — тепло,  $R$  — дыхание,  $P$  — производство. Это термодинамическая версия диаграммы для промышленной экосистемы I типа (см. рис. 4.8). (c) Потоки ресурсов в гипотетической промышленной экосистеме III типа. Это идеальная цель для глобального технологического общества, начинающего в настоящий момент создавать промышленные экосистемы II типа, показанные на рис. 4.9, 22.3 и 22.4

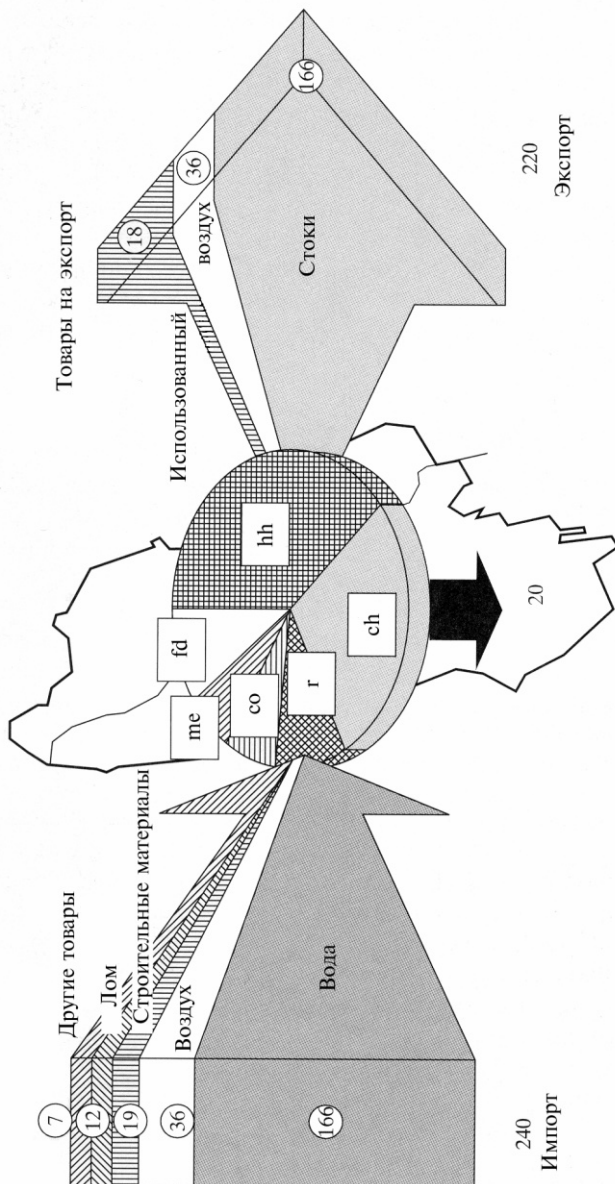


Рис. 22.8

Региональный бизнес товаров сквозь антропосферу Санкт-Галлена, Швейцария, тонн на душу населения в год: hh — частные домовладения, ch — производство химикатов, со — строительство, mc — строительство, fd — переработка металлов, fd — обработка пищи и напитков, r — прочее (Р. Н. Brunner, Н. Daxbeck, and P. Vassini, *Industrial Metabolism at the regional and local level: A case-study on a Swiss region*, in *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, R.U. Ayres and U.E. Simons, eds., Tokyo, United Nations University Press, 162—193, 1994.)

## 22.5 ЗАКОНОМЕРНОСТИ И МАСШТАБ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Сразу же становится очевидным, что природный мир пространственно неоднороден. Различные места обитания — берега рек, леса, поля поддерживают экосистемы различного богатства, связанности и функциональности, даже при похожих климатических условиях. Такая реализация формирует основу для экологии ландшафтов, развивающейся области в рамках БЭ. Ясно, что экология ландшафтов также должна сыграть свою роль и в ПЭ.

Как и в живой природе, технология, население и воздействие на окружающую среду неоднородны. Один очевидный пример: — существование городов и связь городских территорий с ПЭ все еще плохо изучена. Ее важность также растет с ростом урбанизации (рис. 22.9).

В плотно населенный регион ресурсы текут высокими темпами. В развитых странах поток ресурсов на душу населения достигает 50 кг в день. Большие города, включая пригороды с населением 10 млн человек, таким образом, имеют дело с входящим потоком около 500 000 т «всякой ерунды» в день, исключая воду и воздух. Входящие потоки крайне разнообразны, так же как и их источники: яблоки из Новой Зеландии, одежда из Центральной Америки, автомобили из Германии, сталь из Китая. От 50 до 60% этого потока, в основном пища и ископаемое топливо, проходит сквозь систему как продукт относительно легко. Продукт не возвращается в свои источники, но имеет тенденцию захораниваться на свалках или спускаться в резервуары пресной воды рядом с городом-гигантом. Крупные урбанизированные территории — сильные аттрактанты, но слабые диспергенты.

Каковы воздействия городских потоков ресурсов? Исторически их пространственная концентрация была в основном нежелательной, что можно видеть, например, из образования фотохимического смога в Лос-Анджелесе, хотя одинаковое распределение плотности населения во всем штате, возможно, в итоге и не было бы лучше для окружающей среды, оно только было бы другим. Тем не менее, можно представить, что повторное использование ресурсов было бы обеспечено или усилено в городах, так что, словами Джейн Джейкобс (Jane Jacobs), «самые крупные, наиболее процветающие города будут богатейшими, наиболее легко разрабатываемыми и наименее истощимыми рудниками».



В качестве примера рассмотрим современное использование серебра. Около половины его используется в фотографии, и 40% этого объема — в производстве рентгеновских снимков. Исследования показали, что рентгеновская пленка сохраняет большую долю этого серебра и после проявления. Другими словами, архивы рентгеновских снимков в офисе дантиста или рентгенолога — это серебряные копи! Более того, современная компьютерная технология позволяет сканировать и сохранять в электронном виде информацию, хранящуюся на пленке. Таким образом, если у поставщиков по какой-либо причине закончится серебро, урбанистические районы могут служить альтернативными источниками.

Естественно, офисы рентгенологов и дантистов распределены в пространстве неравномерно; они имеют тенденцию концентрироваться вокруг крупных медицинских комплексов. Рис. 22.10 показывает часть г. Бостона, на территории которой показаны три таких комплекса. Весьма вероятно, что для «городского горняка» в Бостоне эти комплексы — богатейшие артерии серебра.

Уровень урбанизации, %

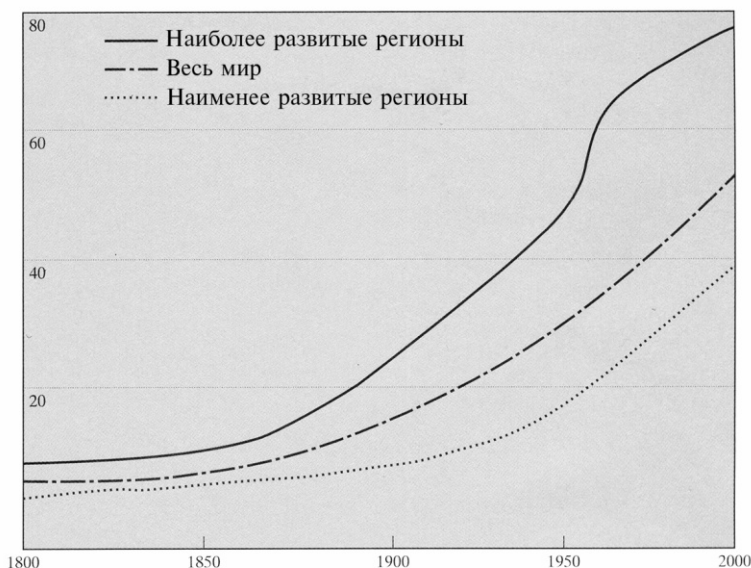


Рис 22.9

Динамика урбанизации в 1800—2000 гг. (В. J. L. Berry, *Urbanization*, в *The Earth as Transformed by Human Action*, B.L. Turner, et. al. eds., Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 103—119, 1990.)

## 22.6 ПОЛЕЗНОСТЬ СМЕШАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Рассуждения этой главы и гл. 4, по-видимому, оставляют мало сомнений в том, что в БЭ и ПЭ можно использовать общие инструменты и концепции. По крайней мере ПЭ может извлечь пользу из следующего.

- Подходы БЭ к пищевым сетям помогают понять структуру и функционирование промышленных экосистем.
- Анализ пищевых сетей помогает в идентификации отсутствующих видов или трофических уровней в промышленной экосистеме.
- Экосистемные инструменты помогают в концептуализации и понимании использования ресурсов, задержек времени, потенциала использования ресурсов и пространственных закономерностей ПЭ.

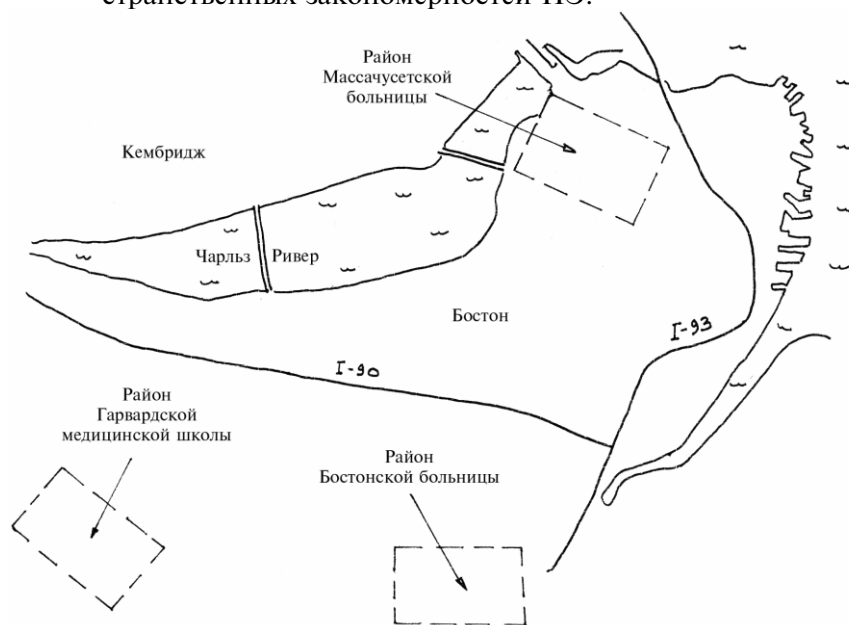


Рис. 22.10

Пример пространственного распределения ресурсов в промышленной экологии: серебро в офисах медицинских рентгенологов в г. Бостоне

Промышленная экология может также быть полезной биологически, в особенности в обеспечении информацией по воздействиям на экосистемы. По мере поступления информации о пространственно определенных потоках отходов ПЭ, об их химической природе и количестве реакцию биологических систем на технологические воздействия можно будет определять более точно и перспективно.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., and W.E. Cooper, Understanding industrial ecology from a biological systems perspective, *Total Quality Environmental Management*, 343–354, Spring, 1994.

Andrews, C.J., Building a micro formulation for industrial ecology, *Journal of Industrial Ecology*, 4 (3), 35–51, 2001.

Chertow, M.R., Industrial symbiosis: Literature and taxonomy, *Annual Reviews of Energy and the Environment*, 25, 313–337, 2000.

Chertow, M. (Ed.), *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools*, Bulletin No. 106, New Haven, CT: Yale School of Forestry & Environmental Studies, 2002.

Ehrenfeld, J., and M. Chertow, Industrial symbiosis: The legacy of Kalundborg, in *A Handbook of Industrial Ecology*, R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 334–348, 2002.

Forward, G., and A. Mangan, By-product synergy, *The Bridge*, 29 (1), 12–15, 1999.

Jacobs, J., *The Economy of Cities*, New York: Random House, 1970.

Keckler, S.E., and D.T. Alien, Material reuse modeling: A case study of water reuse in an industrial park. *Journal of Industrial Ecology*, 2 (4), 79–92, 1999.

Sagar, A.D., and R.A. Frosch, A perspective in industrial ecology and its application to a metals-industry system, *Journal of Cleaner Production*, 5, 39–45, 1997.

### УПРАЖНЕНИЯ

**22.1** Вычислите богатство и связанность промышленной пищевой сети на рис. 22.3.

**22.2** Вычислите богатство и связанность промышленной пищевой сети на рис. 22.2с.

**22.3** Выберите для изучения местный индустриальный парк и определите основные входящие и исходящие потоки. Определите любые существующие взаимоотношения «зеленых двойников» и предложите другие для рассмотрения.

**22.4** Пищевая сеть на рис. 22.2, с показывает много типов агентов на различных трофических уровнях. Равны ли входящие и исходящие потоки для отдельных типов агентов (плавильщиков, пользователей и т.д.)? Почему?

## Г Л А В А 23

# Анализ метаболизма и ресурсов

### 23.1 БЮДЖЕТЫ И ЦИКЛЫ

Экология — это концепция, в самом сердце которой находятся циклы, и циклы анализируются посредством бюджетирования материалов и энергии. Почти каждый знакомится с концепцией домашнего хозяйства и личного финансового бюджета, когда сознательно решает создать и придерживаться его. Подход, очень похожий на подход финансового бюджетирования, используется при формировании бюджетов в промышленной экологии. Ситуацию можно понять с помощью рис. 23.1: в ванну из нескольких кранов течет вода и есть несколько стоков разного размера. Когда вода подается с постоянным объемом (но, возможно, с различным расходом по кранам) и отводится через стоки с тем же общим расходом, хотя, возможно, с разными через разные стоки, уровень воды остается постоянным. Однако, если ванна очень большая и на поверхности образуются волны, что усложняет ответ на вопрос о том, изменяется ли абсолютный уровень, наблюдатель может сталкиваться с трудностями при определении того, находится ли система в равновесии. В этом случае он может попытаться измерить расход воды через каждый кран и каждый слив за некий период времени, чтобы увидеть, равны ли суммы. Часть этого метода включает определение размеров ванны (количества воды в ванне) и либо скорости заполнения, либо скорости стока. Определение изменений размеров ванны дает информацию о скоростях, которые трудно измерить. Процесс оценивания или измерения входящих и исходящих потоков и проверки общего баланса путем измерения количества воды, находящейся в ванне, составляет бюджетный анализ.

Предположим, что поступление из одного источника увеличилось, т.е. в нашей аналогии поток из одного из кранов растет. Будет ли уровень воды продолжать расти? Ответ зависит от того, сможет ли один из сливов вместить дополнительное количество воды, как желоб в правой части ванны на рисунке. Если такого

слива нет, уровень воды, разумеется, будет расти. Наоборот, если поток сквозь слив в силу некоторых причин, например, закупорки, увеличится, уровень воды будет падать, если не будет соответствующего поступления воды. Такой процесс будет продолжаться до тех пор, пока потоки сквозь сливы не подстроятся к этому новому фактору, или до тех пор, пока новый фактор не приведет к изменению функционирования других стоков.

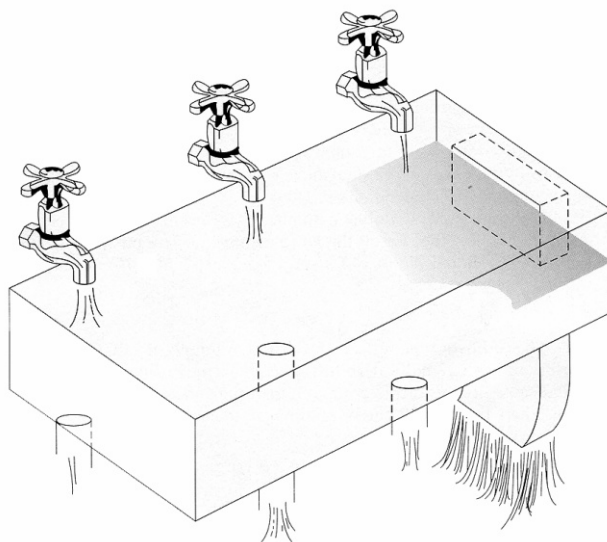


Рис. 23.1

Простая концептуальная система бюджетных расчетов. Уровень воды в ванне определяется притоком и оттоком воды

Все упомянутые выше обстоятельства возникают в бюджетах, разработанных для различных исследований в области промышленной экологии, и все бюджеты построены с использованием одних и тех же идей. Во-первых, это идея запаса, в котором находится материал. Например, отдел поставок где готовые продукты ожидают отправки к покупателю, или атмосфера, где собираются и вступают в реакцию промышленные выбросы. Во-вторых, идея потока, количества определенного материала, поступающего и покидающего запас в единицу времени. Напри-

мер, скорость испарения воды с охлаждающей башни электростанции или перехода озона из стратосферы в тропосферу. В-третьих, у нас есть источники и стоки, определяющие темпы поступления и потерь определенного материала в запасе в единицу времени. Система связанных запасов, в которой перемещается и сохраняется определенный материал, называется циклом.

Бюджеты промышленной экологии имеют те же три основных компонента, что и компоненты для ванны на рис. 23.1: (1) определение уровня в настоящий момент (концентрации одного материала или группы материалов), (2) измерение или оценка ресурсов и (3) измерение или оценка стоков. Точное определение любых двух из этих трех компонентов определяет оставшийся. Из-за того что любой рассматриваемый материал на промышленном предприятии или в окружающей среде может иметь несколько источников и стоков, каждый источник и каждый сток должен изучаться отдельно.

Ряд различных временных периодов удобно определить как части бюджетного и циклического процесса. Первый — *время оборота (turnover time)*, ( $\tau_o$ ) Этот параметр равен отношению содержимого ( $\beta$ ) к потоку определенного материала в запасе ( $F_i$ ) и из ( $F_o$ ) запаса, находящегося в устойчивом состоянии:

$$\tau_o = \beta / F_o = \beta / F_i. \quad (23.1)$$

Время оборота отражает пространственную и временную изменчивость свойства внутри запаса; при этом малая изменчивость соответствует долгому времени оборота, а большая — короткому. Если материал попадает в запас и покидает его разными путями, то общее время оборота запаса будет связано с временем оборота по этим путям  $\tau_{o,i}$  зависимостью

$$\tau_o = \beta_i / (\sum_i F_o) = \beta_i / (\sum_o F_o) = 1 / [\sum_i (1 / r_{o,i})]. \quad (23.2)$$

Второй полезный параметр — *время пребывания (residentce time)*  $\tau_r$ , — среднее время нахождения в запасе определенного материала. Если рассматриваются скорее физические, а не химические процессы, как альтернативу можно использовать термин *время прохождения (trausite time)*. Среднее время нахождения складывается из времени нахождения всех соответствующих субстанций, взвешенных с соответствующими вероятностными коэффициентами. Например, при оценке потока азота из орга-

низма и в организм животного оказывается, что некоторая доля азота быстро проходит через организм, в то время как другие потоки азота — гораздо медленнее, что отражает период жизни животного и характеристики питания и выделений. Среднее время пребывания в ситуации со множеством времен пребывания можно определить как

$$\tau_r = \int \tau \psi(\tau) d\tau, \quad (23.3)$$

где  $\psi(\tau)$  отражает долю компонента, имеющего время пребывания между  $\tau$  и  $\tau+d\tau$ . Эта доля вероятности  $\psi(\tau)$  является функцией процессов в организме. В случае радиоактивного распада, например, можно показать, что  $\tau_r = \tau_\alpha$  — постоянной времени экспоненциального распада радионуклида.

*Возраст (the age)* — это время, прошедшее с момента, когда частица попала в запас. Средний возраст всех частиц определенного вида в запасе задается так:

$$\tau_\alpha = \int \tau \Psi(\tau) d\tau, \quad (23.4)$$

где  $\Psi(\tau)$  — вероятностная функция возраста.

Для запаса в устойчивом состоянии время оборота  $\tau_0$  и среднее время пребывания  $\tau_r$  одинаковы. Однако они могут существенно отличаться от среднего возраста частиц в запасе в зависимости от свойств функций  $\psi(\tau)$ . Очевидный пример, показывающий, что  $\tau_r \neq \tau_\alpha$ , — население: в развитых странах средний возраст находится между 35 и 40 годами, в то время как среднее время пребывания (продолжительность жизни) составляет более 79 лет.

Для системы, выбранной в границах Земли, как бюджет азота, и при отсутствии значительных утечек в межпланетное пространство, общее количество материала не изменится со временем:

$$\sum \beta = \text{const}. \quad (23.5)$$

Если вся система находится в устойчивом состоянии, то входящие и исходящие потоки каждого запаса в точности уравниваются друг друга, так что в каждом случае

$$\beta_r = \text{const}, \quad (23.6)$$

т.е. содержимое каждого запаса не будет изменяться со временем:

$$\Delta r = \frac{d\beta_r}{dt} = 0. \quad (23.7)$$

Однако в изменяющейся системе входящие и исходящие потоки неодинаковы,  $\Delta_r$  измеряется в реальном выражении и определяется как функция времени отклика (*response time*)  $\tau_c$  — времени, необходимого для сокращения отклонения от равновесного состояния в запасе до  $1/e$  первоначального значения. Например, во многих химических приложениях равновесие вида  $i$  в системе выражается как

$$0 = P_i - \Lambda_i \beta_r, \quad (23.8)$$

где  $P_i$  — скорость производства вида  $i$  и  $\Lambda_i \beta_r$  — скорость потери,  $\beta_r$  — содержание вида  $i$  в запасе  $r$ . Если мы теперь введем отклонение от равновесия  $\beta'_r$  (изменение  $\beta_r$ ), то со временем

$$\Delta = \frac{d\beta_r}{dt} = P_i - \Lambda_i(\beta_r - \beta'_r) = -\Lambda_i\beta_r, \quad (23.9)$$

поэтому

$$\beta'_r(t) = \beta'_{r0} \exp(-\Lambda_i t). \quad (23.10)$$

В этом случае

$$\tau_c = \Lambda_i^{-1}. \quad (23.11)$$

Концепции, обсужденные выше, могут быть проиллюстрированы примерами из природы. Когда исследуется бюджет организма, охватывающий все значительные входящие и исходящие потоки ресурсов, это называется *метаболическим анализом* (*metabolic analysis*).

Вместо организма бюджет может исследовать определенный ресурс. В зависимости от границ ресурсного анализа он может иметь дело с любым пространственным масштабом и со множеством запасов. На рис. 23.2 показан бюджет азота лесной экосистемы. Входящие и исходящие потоки пересекают границу экосистемы; внутри ее находятся пять запасов ((1) связанный азот в живой биомассе над поверхностью, (2) связанный азот в живой биомассе под землей, (3) связанный азот в лесной подстилке, (4) связанный азот в минеральной почве и (5) свободный азот в почве) и связывающие их потоки. Сразу видно, что наибольший запас азота находится в минеральной почве и что наибольшие потоки азота — это минерализация, за которой следует подземное образование биомассы. Как в случае многих бюджетов, некоторые из запасов и потоков, в особенности меньшие или те, которые трудно измерить, остаются точно не известными.



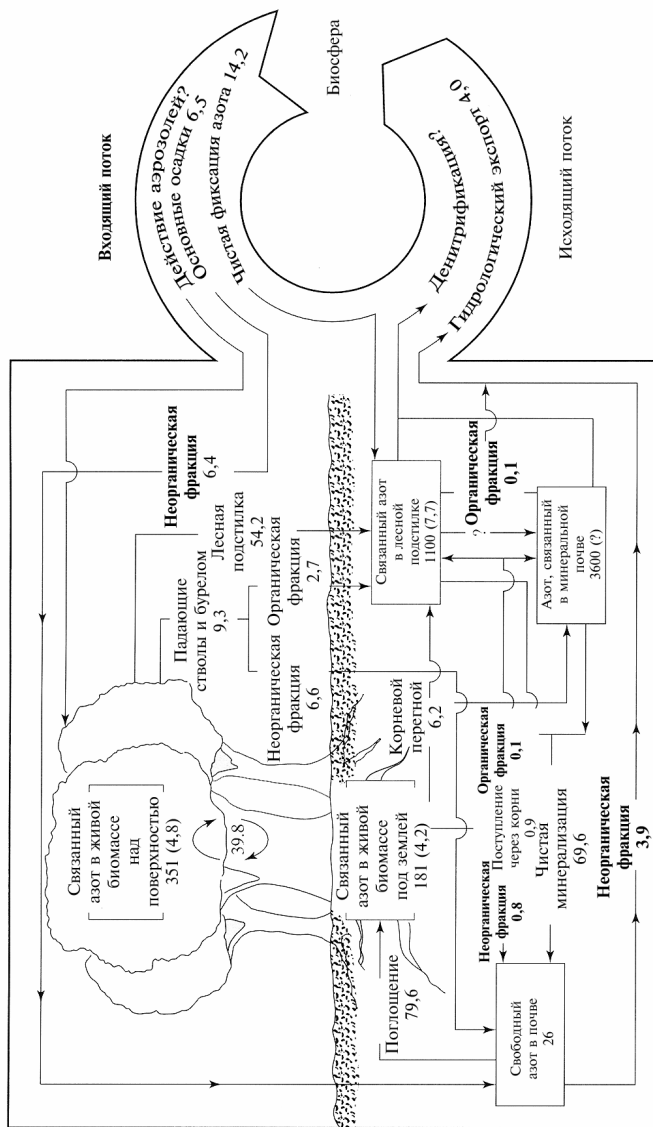


Рис. 23.2

Пример анализа бюджета ресурсов: головной бюджет азота для ненарушенной северной твердолиственной лесной экосистемы, Hubbard Brook, New Hampshire. Связанный азот — органически связанный азот, не доступный непосредственно для роста растений; минерализация — микробиологическая трансформация связанного азота в неорганический, который может быть использован растениями. В особенности аммоний ( $\text{NH}_4$ ), нитрит ( $\text{NO}_2$ ) и нитрат ( $\text{NO}_3$ ). Распад атмосферного  $\text{N}_2$  до  $\text{NH}_3$  осуществляется денитрифицирующими бактериями, которые в анаэробных условиях переводят нитрат в молекулярный азот и оксид азота. Запасы в прямом углениках указаны в килограммах азота на гектар в год (F.H. Borgmann, G.E. Likens, and J. M. Melillo, Nitrogen budget for an aggrading northern hardwood forest ecosystem, *Science* 196, 981—983.)

В промышленной экологии концепции бюджетов и циклов прилагаются скорее к техническим, а не к природным системам, или иногда к сочетанию технических и природных систем. Для связанных с технологией организмов различных типов и степеней сложности результаты помогают нам оценивать сегодняшние метаболические потребности и те, что могут потребоваться в будущем. Аналогично можно изучать некоторые ресурсы по мере их прохождения сквозь различные технологические организмы и таким образом оценивать предложение, использование и потенциальные воздействия ресурсов на окружающую среду.

## 23.2 МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

В метаболическом анализе организма (*organismal metabolic analysis, ОМА*) предмет анализа — промышленный организм, человек или, например, завод. Классический ОМА был проведен Иддо Верником (Iddo Wernick) и Джесс Осьюбел (Jesse Ausubel) из Rockefeller University: анализировались потоки ресурсов на душу населения США в 1990 г. Некоторые результаты приводятся в табл. 23.1. Вода — настолько большой поток, что она имеет тенденцию уменьшать важность других потоков; также очень велика нагрузка добычи полезных ископаемых. Из оставшегося строительные материалы и используемые на производство энергии виды ископаемого топлива дают самые крупные входящие потоки; диоксид углерода от сжигания ископаемого топлива дает самый большой исходящий поток.

Подход ОМА также очень полезен при изучении деятельности завода и коммерческого предприятия. Анализируя то, что поступает на предприятие, что его покидает и в какой степени входящий материал полезно используется или теряется, часто можно выявить возможности для существенного улучшения экологических показателей.

Анализ потоков в промышленной экологии может быть проведен внутри и сквозь границы определенных географических регионов; это региональный (*regional*) метаболический анализ (*RMA*). На рис. 22.8 был показан пример для региона в северо-восточной Швейцарии. Авторы этого исследования решили в

явном виде включить воздух и воду, и эти потоки доминируют. Из твердых потоков наиболее важны строительные материалы. Интересно, что входящие и исходящие потоки не уравновешивают друг друга; явно существует рост запасов внутри региона. Такой рост можно рассматривать как технологический аналог роста биологического организма; очевидно, он не может поддерживаться бесконечно, в некоторый момент запас станет частью существующего потока.

ТАБЛИЦА 23.1 Потоки ресурсов на душу населения США  
в 1990 г.

	Поток, кг/день
<i>Входящие потоки</i>	
Энергоресурсы	23,5
Строительные минералы	23,1
Импорт	6,9
Сельское хозяйство	6,9
Продукты деревообработки	2,9
Промышленные минералы	2,7
Металлы	1,2
<i>Исходящие потоки</i>	
Выбросы в атмосферу	19,0
Отходы	6,1
Экспорт	4,5
Рассеивание	1,6

Данные из I. K. Wernick and J.H. Ausubel, National material flows and the environment, *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 463–492, 1995.

Более крупные регионы также исследуются методом RMA. На самом деле, поскольку данные часто собираются в национальном масштабе, бюджет на уровне страны обычно составить проще, чем бюджеты на уровне регионов. В табл. 23.2 дается сравнение результатов RMA для нескольких стран, проведенное международной группой специалистов под патронажем World Resources Institute (WRI). Верхняя часть таблицы содержит потоки в окружающую среду различными секторами промышленности. В результате соотносятся масштабы стран с темпами деятельности — потоки США самые высокие во всех категориях. Однако выпуск промышленного сектора Японии очень большой, если принять во внимание ее размеры; то же справедливо и для выпуска сельского хозяйства Нидерландов. Однако разли-

чия заметно сокращаются, если эти потоки выразить в объемах на душу населения. Потоки, связанные с домашними хозяйствами, например, близки, кроме Японии, где они гораздо ниже. Потоки, связанные со строительством, также близки, кроме Австрии, где они гораздо выше. Экологические потоки от сельского хозяйства в Нидерландах и транспорта в США представляют очевидные возможные цели для политических инициатив.

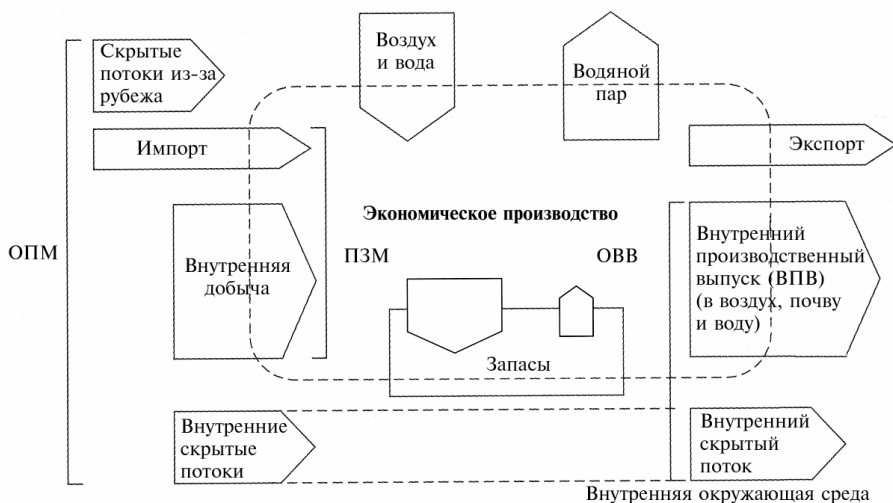
ТАБЛИЦА 23.2 Внутренние выбросы в окружающую среду в пяти странах, 1996

	Австрия	Германия	Япония	Нидерланды	Соединенные Штаты
Суммарный поток, млн т					
Сельское хозяйство	9,5	44,8	30,6	44,6	231,6
Строительство	5,4	26,2	25,4	3,0	110,0
Энергия	2,9	133,1	119,7	12,4	723,9
Промышленность	11,0	35,3	171,3	18,1	653,0
Домашнее хозяйство	6,5	56,4	35,2	14,0	280,4
Транспорт	1,2	57,9	77,8	17,1	668,9
Среднее на душу населения, т					
Сельское хозяйство	1,2	0,6	0,2	2,9	0,9
Строительство	0,7	0,3	0,2	0,2	0,4
Энергия	0,4	1,6	1,0	0,8	2,7
Промышленность	1,4	0,4	1,4	1,2	2,4
Домашнее хозяйство	0,8	0,7	0,3	0,9	1,0
Транспорт	0,7	0,7	0,6	1,1	2,5

Данные из E. Mathews, et al., *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*, Washington, DC: World Resources Institute, 125 pp., 2000.

Важным вкладом в исследование были выявление и расчет скрытых потоков — материалов, перемещенных или освоенных

в результате предложения товаров, но не входящих самостоятельно в экономику (табл. 23.2). Существуют два компонента этих скрытых потоков: (1) вспомогательное сырье, удаленное вместе с нужным материалом и впоследствии разделенное и выброшенное, как матрица породы, содержащая металлическую руду; (2) добытый и/или потревоженный материал, как, например, почва, перемещенная для того, чтобы получить доступ к рудному телу. Это включение означает, что все материальные потоки, очевидны они для пользователя или нет, включаются в RMA (рис. 23.3).



ОПМ (общая потребность в материалах) = ПЗМ + внутренние скрытые потоки + зарубежные скрытые потоки  
ПЗМ (прямые затраты материалов) = внутренняя добыча + импорт  
ЧПЗ (чистая прибавка к запасам) = ПЗМ — ВПВ — экспорт  
ОВВ (общий внутренний выпуск) = ВПВ + внутренние скрытые потоки  
ВПВ (внутренний произведенный выпуск) = ПЗМ — чистая прибавка к запасам — экспорт

Рис. 23.3

Материальный цикл в региональном метаболическом анализе (E. Mathews, et al., *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*, Washington, DC: World Resources Institute, 125 pp., 2000.)

Среди интересных и полезных результатов анализов RMA, представленных группой под патронажем WRI, на уровне стран можно отметить следующее.

- Индустриальные экономические системы начинают более эффективно использовать материалы, но образование отходов продолжает расти.
- От половины до трех четвертей ежегодного притока ресурсов в промышленных системах возвращается в окружающую среду в качестве отходов.
- Добыча и использование энергоресурсов в промышленно развитых странах преобладают над исходящими потоками. В промышленно развитых странах к внутренним запасам на душу населения ежегодно добавляется в среднем около десяти тонн материалов, в основном в зданиях и в инфраструктуре.

### 23.3 АНАЛИЗ РЕСУРСОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Анализ ресурсов применяется на различных уровнях, которые можно выделить по признаку химического состояния ресурса. Если ресурс рассматривается в атомарной или молекулярной форме, исследование называется *анализом веществ (substance analysis)*. В простейшем случае объект анализа — скорость перехода элемента из запаса в запас. Следующий по сложности подход имеет дело с молекулами примесей, т.е. с хорошо определенными химическими веществами. Наконец, если ресурс рассматривается в различных химических состояниях и в ряде природных и антропогенных запасов — рудах или автомобилях, метод носит название *анализ материалов (materials analysis)*. В любом из этих случаев подход может включать только определение потоков или как потоков, так и запасов. В табл. 23.3 приведены различные типы анализа ресурсов. Анализ ресурсов может проводиться для природных запасов и потоков, для антропогенных запасов и потоков или их сочетания.

---

ТАБЛИЦА 23.3 Типы анализа ресурсов

Название	Аббревиатура
Анализ потоков элементов (Elemental flow analysis)	EFA
Анализ запасов и потоков элементов (Elemental stock)	ESFA

and flow analysis)

Анализ молекулярных потоков (Molecular flow analysis)	MoFA
Анализ молекулярных запасов и потоков (Molecular stock and flow analysis)	MoSFA
Анализ потоков веществ (Substance flow analysis)	SFA
Анализ запасов и потоков веществ (Substance stock and flow analysis)	SSFA
Анализ материальных потоков (Material flow analysis)	MFA
Анализ материальных запасов и потоков (Material stock and flow analysis)	MSFA

---

### 23.3.1 АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ

В центре внимания анализа элементов находится атом, поскольку его запасы могут быть ограничены (например, золота), или поскольку он биотоксичен (например, кадмий). Это означает не то, что объект анализа обязательно присутствует в атомарной форме, а то, что химическая форма, в которой атом существует, в рамках этого анализа не рассматривается. Преимущества этого подхода заключаются в том, что данные четко определены: например, поток серы выражается как масса серы в единицу времени, вне зависимости от того, в каком химическом веществе рассматривается сера.

На рис. 23.4 показан ЕФА для свинца, проведенный в 1998 г. Легко видеть, что большая часть свинца была использована в производстве батареек, что две трети свинца в батарейках были рециклированы, и что пигменты были в основном диссипативного использования. Масштаб здесь глобальный, но таким он должен был быть не обязательно: анализ ресурсов может проводиться в любом пространственном масштабе.

### 23.3.2 МОЛЕКУЛЯРНЫЙ АНАЛИЗ

Первый молекулярный анализ ресурса в промышленной экологии получил Нобелевскую премию. Это было исследование атмосферного цикла хлорфторуглеродов Марио Молина (Mario Molina) и Ф. Шервуда Роланда (F. Sherwood Rowland) из University California-Irvine. Эти соединения, созданные промышленностью как охлаждающие вещества, были обнаружены в атмосфере. Молина и Роланд показали, что в результате произой-

дет их разложение под действием высокоэнергетической солнечной радиации в верхних слоях атмосферы и реакции с атмосферным озоном. Открытие озонной дыры над Антарктидой несколькими годами позже подтвердило точность их анализа.

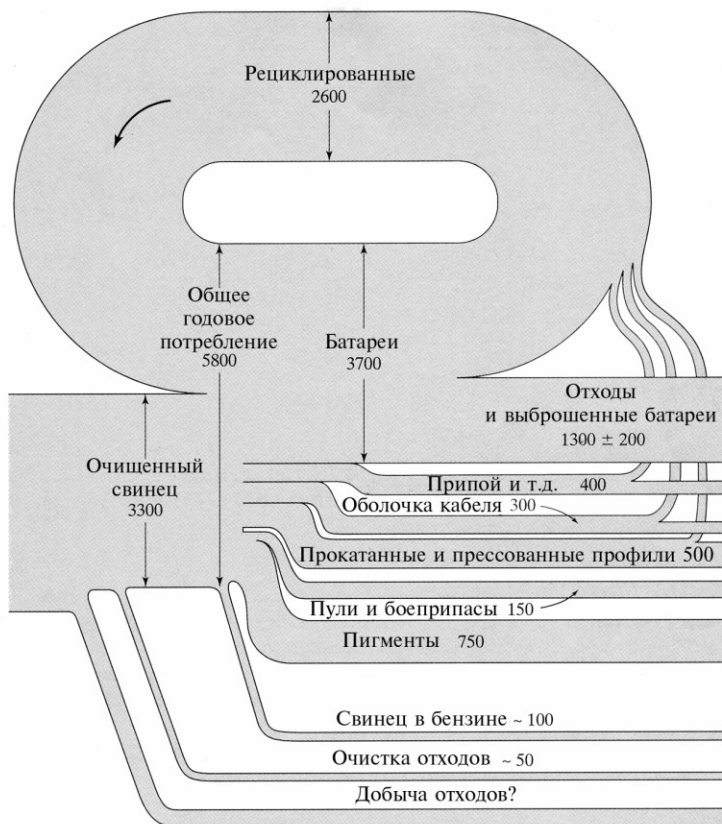


Рис. 23.4

EFA свинца в мировой экономике, тыс. т, в 1988 г. (V. Thomas and T. Spiro, Emission and exposure to metals: Cadmium and lead, in *Industrial Ecology and Global Change*, R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, and V. Thomas, eds., Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 297—318, 1994.)

Молекулярные подходы могут быть мощными инструментами для изучения видов, которые имеют как природные, так и



антропогенные источники. Хорошим примером может послужить атмосферный метан, его бюджет приведен в табл. 23.4. Анализ показывает, что потоки от антропогенных источников вполне определенно превышают потоки от природных и что ни один антропогенный источник не доминирует.

ТАБЛИЦА 23.4 Анализ молекулярных потоков атмосферного метана

Элемент бюджета	Поток, млн т С в год
<b>Источники</b>	
<i>Природные</i>	
Болота	120 (100—200)
Термиты	20 (10—50)
Океан	10 (5—20)
Гидраты	0 (0—5)
<i>Антропогенные</i>	
Добыча угля, газа	100 (70—120)
Рисовые поля	60 (20—100)
Жвачные животные	80 (65—100)
Переработка отходов	80 (60—100)
Сжигание биомассы	40 (20—80)
<b>Стоки</b>	
Реакция с $\text{HO} \cdot$	430 (350—510)
Удаление почвами	30 (15—45)

Данные относятся к 1990 и взяты из Т. Е. Graedel and P.J. Crutzen, *Atmospheric Change: An Earth System Perspective*, New York: W.H. Freeman, 1993. Для каждого элемента дается лучшая оценка, в скобках — общий интервал, внутри которого, как считается, должно находиться истинное значение.

### 23.3.3 АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВА

Молекулярный анализ проводится потому, что некоторые свойства молекул — их спектр поглощения радиационного излучения, например, имеют первостепенную важность. Если нужно рассмотреть возможность рециклирования или какое-либо другое свойство, в котором важны некоторые химические формы ресурса, возможно, следует провести анализ вещества. Напри-

мер, глобальный цикл цинка (рис. 23.5). В этом анализе некоторая доля цинка оценивается в виде лома, некоторая как компонент сплава и некоторая как покрытие другого металла.

Анализ свинца на рис. 23.4 можно было бы считать примером SFA, если бы было определено химическое состояние свинца в каждом потоке. Даже без такого уровня детализации очевидно, что свинец, который претерпевает рециклирование, обычно после использования находится в элементной форме (в батареях, оболочке кабеля, прокатанный свинец), в то время как свинец, потерянный в окружающей среде после использования, имеет химическую форму более сложную (пигменты, бензин со свинцовыми добавками, отходы очистки). Поэтому диаграмма дает немедленный ответ проектировщику продукта: если это возможно, избегать использования сплавов, композитов и других смесей, если не доступны эффективные технологии для восстановления, разделения и рециклирования.

### 23.3.4 АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

В анализе материалов исследуемый ресурс оценивается внутри и/или между несколькими запасами, в которых ресурс может быть либо основным либо второстепенным компонентом. Это промышленный аналог рис. 23.2, в котором определяются запасы и потоки азота, незначительного, но жизненно важного компонента почвы и растительности. В приложениях промышленной экологии первоначальный запас — это природный запас (залежи минерала или нефти, например), в то время как последующие запасы обычно включают использование человеком, скажем, в фотокопировальных машинах или самолетах. Такой бюджет использования меди в Европе в 1995 г. представлен на рис. 23.6. Здесь поток самородной меди гораздо больше, чем рециклированной; основные запасы представляют электрические провода и медные трубы, несколько процентов меди теряется в окружающей среде, в основном как шлам и окалина при производстве.





### 23.4 БАЛАНС МЕЖДУ ПРИРОДНОЙ И АНТРОПОГЕННОЙ МОБИЛИЗАЦИЕЙ РЕСУРСОВ

Только некоторые из элементов Периодической системы были объектами широкомасштабного бюджетного анализа и анализа циклов. Тем не менее сразу же становится очевидным, что природные потоки преобладают среди других. На рис. 23.7 представлена периодическая таблица, в которой отражено, как это можно наилучшим образом определить. Можно видеть, что природные потоки обычно более важны для элементов групп Ia, IIa и VIa—VIIIa, антропогенные потоки — для элементов групп IIIa—Va и Ib—VIIIb.

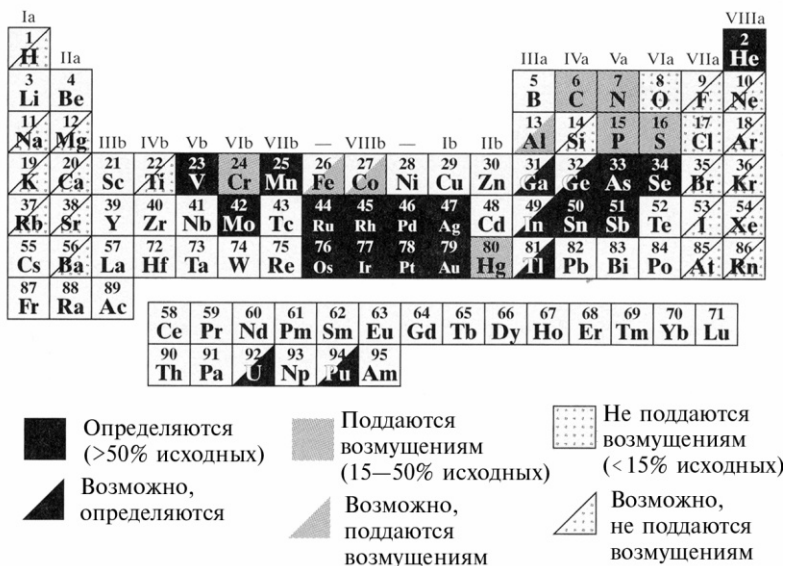


Рис. 23.7

Оценка степени, в которой глобальные циклы элементов определяются природой и деятельностью человека (T.E. Graedel and R.J. Klee, Elemental cycles: A status on human or natural dominance, submitted for publication, 2002.)

Какова причина этих закономерностей? Оказывается, что она связана с растворимостью в воде основного состава, в котором элемент встречается в природе. Легкорастворимые элементы —

натрий в морской соли, например, — эффективно используются живыми организмами как строительные блоки — кальций в раковинах, хлор в клетках и т.д. Элементы в центре периодической таблицы, однако, имеют тенденцию встречаться в виде нерастворимых оксидов или сульфидов. В природных процессах нет эффективного способа выделения этих элементов и нет механизма их использования, когда они выделяются в промышленных процессах. В результате именно эти элементы формируют сопротивляющиеся коррозии структуры, обеспечивающие высокопрочные материалы, которые часто биотоксичны. Для большинства элементов, хотя и не для всех, растворимость в воде определяет, природа или люди будут контролировать их участие в процессах и движение.

### **23.5 ПОЛЕЗНОСТЬ АНАЛИЗА МЕТАБОЛИЗМА И РЕСУРСОВ**

Типы анализа, обсуждаемые в этой главе, показали свою крайнюю полезность как инструменты промышленной экологии. Анализ метаболизма разрешает исследовать использование ресурсов индивидуумами и предприятиями и способствует пониманию культурных и технологических закономерностей. Для географических регионов такой анализ и прогнозы, построенные на его основе, подсказывают разнообразие политических инструментов, позволяющих помочь улучшить показатели, например планирование дорожного движения, побуждение к рециклированию и строительство заводов, перерабатывающих отходы.

Анализ ресурсов также очень полезен. Его результаты помогают получить представление об устойчивости ресурсов и возможности цикличности их использования и оценить существующие и потенциальные экологические ущербы. Государственная политика так же как и корпоративная политика, очевидно, может оказать давление на эти проблемы, как только бюджеты будут определены с удовлетворительной точностью.

Влияние на окружающую среду оказывается действиями, предпринимаемыми для того, чтобы стимулировать потоки ресурсов, или самими потоками. Оценив эти потоки во времени и в пространстве и с надлежащей временной и пространственной скидкой, мы получим информацию, необходимую для определения устойчивости нашего промышленного предприятия.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Ayres, R.U., Industrial metabolism, in *Technology and Environment*, J.H. Ausubel and H.E. Sladovich, eds., Washington, National Academy Press, 23—49, 1989.

Bringezu, S., and Y. Moriguchi, Material flow analysis, in *A Handbook of Industrial Ecology*. R.U. Ayres and L.W. Ayres, eds., Cheltenham, U.K.: Edward Elgar Publishers, 79—90, 2002.

Graedel, T.E., and W.C. Keene. The budget and cycle of Earth's natural chlorine, *Pure and Applied Chemistry*, 68, 1689—1697, 1996.

Matthews, E., et al., *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*, Washington, DC: World Resources Institute. 2000.

Molina, M.J., and F.S. Rowland, Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruction of ozone, *Nature*, 249, 810—812, 1974.

Van der Voet, E., J.B. Guinée, and H.A. Udo de Haas, eds., *Heavy Metals: A Problem Solved?*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Wernick, I.K., and J.H. Ausubel, National material flows and the environment, *Annual Review of Energy and the Environment*, 20, 463—492, 1995.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 23.1** Вам предписано проанализировать резервуар, в целом подобный резервуару на рис. 23.1. Резервуар имеет три входящих потока ( $I_1=6$  л/с,  $I_2=13$  л/с,  $I_3=9,5$  л/с) и два выходящих потока ( $O_1=16$  л/с,  $O_2=10$  л/с). Находится ли система в устойчивом состоянии? Если нет, какова скорость изменения объема содержимого резервуара?
- 23.2** Резервуар из упражнения 23.1 содержит 1500 л воды. Добавляется третий выходящий поток  $O_3=2,5$  л/с. Вычислите время оборота воды в резервуаре.
- 23.3** В табл. 23.3 дана информация по потокам в окружающую среду в пяти странах. Если бы вы были министром окружающей среды Германии, какие политические инициативы на основе этих данных вы могли бы предложить? Отличался ли бы подход в Японии? В Нидерландах? Какая другая информация была бы полезна при оценке политических инициатив?
- 23.4** Цикл цинка на рис. 23.5 не находится в устойчивом состоянии. Что это подразумевает для глобальных запасов используемого цинка? Какие запасы меняются наиболее быстро? Каково будет изменение содержимого каждого из используемых запасов через 10 лет при данных постоянных скоростях потоков?

## Г Л А В А 24

# Системный анализ, модели и разработка сценариев

### 24.1 МЫШЛЕНИЕ НА СИСТЕМНОМ УРОВНЕ

#### 24.1.1 КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМ

Возможно, наиболее важная операционная особенность подхода промышленной экологии заключается в ее способности фокусироваться не только на продукте, но также и на связанных с продуктом системах и их поведении. Идентификация соответствующей системы и связывание ее с соответствующими технологическими условиями часто бывает чрезвычайно важным шагом в любой успешной оценке в промышленной экологии. Поэтому полезно ввести и обсудить общую концепцию технологической системы.

Систему можно рассматривать как группу взаимодействующих, взаимозависимых частей, связанных обменом энергии, материи и (или) информации. Определение системы почти всегда немного спорно и требует от аналитика установить те виды обмена, которые соответствуют цели определения, понять внутренние связи системы и определить внешние условия, в которых действует эта система. Например, ни у кого не возникло бы желания определять экологические аспекты технологии по отношению к солнечной системе: система слишком велика и многие из связей с технологией слишком косвенные. Скорее, можно было бы выбрать ограниченную систему, например воздействия на окружающую среду входящих и исходящих потоков и процессов, связанных с определенной технологией, в области или регионе; но можно ли сократить эти воздействия, если это необходимо? Даже в такой ограниченной системе неопределенность данных и сложности могут сделать достаточными определение и оценку только основных воздействий.

Наиболее важное различие между классами систем для промышленного эколога — различие между простым и сложным. Во многих случаях управленческий подход, структура регулиро-



вания и аналитические методы, традиционно используемые в вопросах, затрагивающих технологию, экономическую и экологическую эффективность, прямо или косвенно предполагали, что имеющаяся система — простая. Однако практически во всех случаях рассматриваемые системы — экономические, экологические или технологические — сложные. Термины используются здесь не в смысле классической физики (например, «простой» гармонический осциллятор), но в их словарных определениях: «сложная» означает «состоящая из взаимосвязанных частей», что делает сложное трудным для понимания; «простая», таким образом, — необъединенная и несоставная. Это различие имеет некоторые следствия.

1. Простые системы имеют тенденцию вести себя линейно: выход системы линейно связан с входом. С другой стороны, сложные системы характеризуются сильными взаимодействиями между частями и нелинейными реакциями; например, соляное болото может быть относительно устойчивым к химическому загрязнению до превышения определенного порога, после которого даже малая доля дополнительного загрязнения быстро приведет к стремительной деградации. Это — сложная система.
2. Простые системы обычно можно оценивать в терминах причины и следствия: действие просто отслеживается по всей системе до его предсказуемого последствия. С другой стороны, в сложных системах обнаруживаются обратные связи, которые часто делают зависимость между причиной и следствием сложной для определения.
3. Сложные системы в отличие от простых характеризуются значительными временными и пространственными неоднородностями структуры. В понимании вопросов, связанных с глобальным изменением климата, для большинства людей проблематично то, что там существуют большие временные лаги между оказывающей воздействие функцией (ездой на автомобиле или использованием электроэнергии, например) и возникающими изменениями глобальных климатических закономерностей. Временные лаги дополняются пространственными — связями между локальными видами деятельности, на-

пример ездой на автомобиле, и глобальными воздействиями, которые могут возникать в удаленных регионах (например, затопление побережья в Бангладеш).

4. Простые системы обычно характеризуются стабильной и известной точкой равновесия, в которую они предсказуемо возвращаются при возмущениях. Многие сложные системы, с другой стороны, функционируют далеко от равновесия, в состоянии постоянной адаптации к изменяющимся условиям. Сложные системы часто развиваются. Простые системы обычно остаются более или менее такими, какие они есть.
5. Предполагается, что в простых системах изменение — это аддитивная функция характеристик подсистемы; т.е. система со стрессогенными факторами  $A$  и  $B$  будет иметь воздействие  $Y$ , определяемое уравнением

$$Y = A + B \quad (24.1)$$

или, проще говоря, сложив два четвертака (червертак—монета в 25 центов — *прим. пер.*), вы получаете полдоллара, ни больше, ни меньше.

С другой стороны, в сложных системах неожиданное поведение может не быть аддитивным: мы не можем предсказать характеристики муравейника, суммируя наблюдаемое поведение отдельных муравьев, поскольку мы упустили из виду эффекты взаимодействия. В сложной системе со стрессогенными факторами  $A$  и  $B$  воздействие  $Y$  может диктоваться этим интерактивным членом  $AB$ , значение и поведение которого может быть далеко от очевидного:

$$Y = A + B + f(AB). \quad (24.2)$$

Примером интерактивного эффекта может служить влияние водяного пара ( $A$ ) и диоксида углерода ( $B$ ) на температуру планеты ( $Y$ ). В этой системе  $A$  и  $B$  не являются независимыми, поскольку, если концентрации диоксида углерода растет и планета нагревается, в атмосферу будет испаряться больше воды, увеличивая поглощение инфракрасного излучения и еще больше нагревая планету. Это эффект положительной обратной связи (*positive feedback effect*).

### 24.1.2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Отношение подходов сложных систем к промышленной экологии связано с тем, что продукты технологии не стоят особняком, а встроены в бóльшую технологическую систему, став ее компонентами. Точно так же, как существует важное место для промышленной экологии на уровне продуктов, существует роль и для тех, кто использует промышленную экологию на системном уровне. Этот последний подход можно лучше всего продемонстрировать на знакомом всем примере: технологической системе автомобильной промышленности.

На рис. 6.1 была изображена простая схема системы. Она включает в себя самые низкие, технологически относительно сложные уровни механических подсистем автомобиля и производственных процессов, с помощью которых они производятся. Эти подсистемы и процессы были основным центром внимания экологического регулирования.

Следующий системный уровень — использование автомобилей — более важен. Существуют две основные стороны этого уровня: техническая и культурная. С технической стороны был достигнут большой прогресс в сокращении воздействий на окружающую среду. Например, цикл сокращений выбросов неметановых углеводородов (в основном молекул топлива, для которых сгорание было неполным в выхлопных газах) (рис. 24.1). В 1970 г. выбросы составили около 2 г/км. В 1975 г. введение катализаторов дожигания выхлопных газов сократило это значение в 4 раза. В 1980 г. были введены электронные сенсоры и системы контроля выбросов, и выбросы сократились еще вдвое. Всестороннее использование точной технологии в 1990-х годах — производство унифицированных камер сгорания, электронное управление впрыском, топливом и зажиганием, современные сенсоры выхлопных газов — еще больше сократило выбросы, так что автомобиль конца 1990-х годов имел уровень выбросов углеводородов приблизительно в 100 раз меньше, чем автомобили 1970-х.

С точки зрения культуры, наоборот, неспособность учитывать воздействие использования автомобилей практически абсолютна. Спектр автомобилей, которые куплены в более развитых странах — и скоро станут доступными в быстро развивающихся странах, например в Китае, — все менее эффективен. В США

семьи по привычке покупают полноприводные автомобили с высоким потреблением топлива. Самый простой критерий отсутствия в глазах людей связи между использованием автомобиля и воздействием на окружающую среду — рост с течением времени расстояния, которое автомобили проезжают в год. Для США этот рост составляет 440% между 1950 и 1992 г., в период, когда население выросло лишь на 68%. Этот рост наблюдается для водителей всех возрастов и как для мужчин, так и для женщин (рис. 24.2). Большая доля этой езды связана не с бизнесом или покупками, а с общественной деятельностью или отдыхом: вечерним развлечением, спортивным праздником для детей, отпуском. Кроме того, экономящий топливо федеральный лимит скорости 55 миль/ч был отменен в 1995 г. на том основании, что его посчитали покушением на личную свободу и права штата; в разных штатах легальная скорость сейчас составляет 65, 75 миль/ч и только в одном случае она не ограничена. В Германии попытки установить какой-либо лимит скорости на автобанах провалились, даже несмотря на большую популярность экологической партии в Германии.

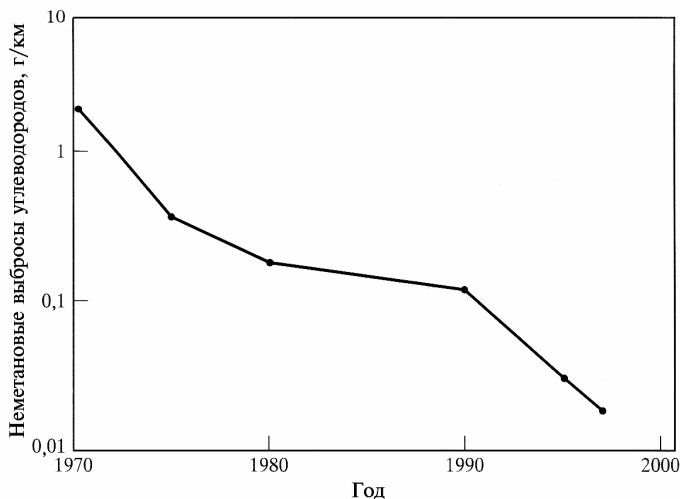


Рис. 24.1

Неметановые выбросы углеводородов с выхлопными газами автомобилей в США за последние 30 лет (Данные взяты из Low Emission Partnership, USCAR Consortium.)

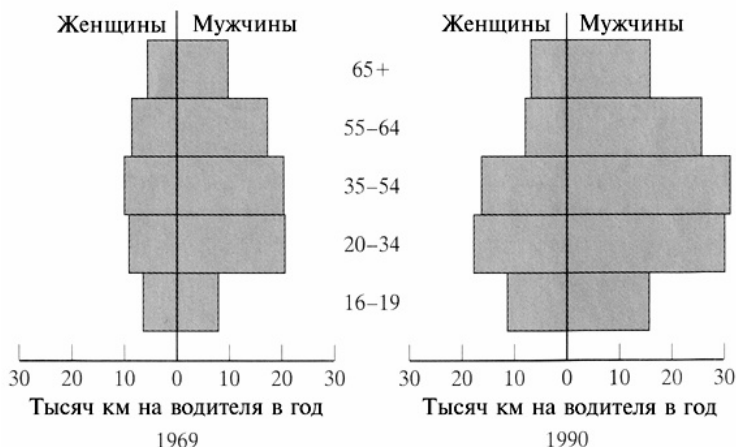


Рис. 24.2

Зависимость годового пробега автомобиля от возраста водителя для водителей США в 1969 и 1990 гг. (Адаптировано из L. Schipper, *Lifestyles and the environment: The case of energy, Daedalus, Journal of the American Academy of Arts and Sciences*, из выпуска, озаглавленного «The Liberation of the Environment», Summer 1996, Vol. 125, № 3.)

Даже поверхностная оценка системы производства и использования автомобиля отражает то, что внимание фокусируется на неправильной подсистеме, и иллюстрирует фундаментальную истину: маловероятно, что чисто технологическое решение полностью устранил культурно обусловленную проблему. В противоположность обычному пониманию наиболее значительные воздействия на окружающую среду системы автомобильной технологии, возможно, должны быть связаны с наивысшими уровнями системы, инфраструктурными технологиями и социальной инфраструктурой. Рассмотрим энергетические и экологические воздействия, которые оказываются только двумя основными компонентами системы, необходимыми для использования автомобилей. Строительство и поддержание «строительной инфраструктуры» — дорог и магистралей, мостов и тоннелей, гаражей и парковок — оказывают огромное воздействие на окружающую среду. Энергия, требуемая для строительства и поддержания этой инфраструктуры, природные области, которые подвергаются воздействию или разрушаются в этом процессе, объемы тре-

буемых материалов от наполнителя бетона до асфальта — все это требуется автомобильной культуре и принадлежит к ней. Кроме того, автомобиль — это первичный потребитель нефти и продуктов ее переработки, добавления присадок и распределения — и, таким образом, в нем причина большей доли воздействий на окружающую среду. Некоторое представление о сложности, которое привносит системный взгляд в наше понимание автомобиля и его взаимодействий с окружающей средой, обеспечивается системным анализом массовых потоков, изображенных на рис. 24.3, — это гораздо больше, чем просто анализ выбросов!

Некоторые лидирующие в области инфраструктуры и производства энергии фирмы затратили усилия на сокращение их воздействий на окружающую среду, но эти технологические и управленческие улучшения, желательные сами по себе, не могут самостоятельно начать компенсировать увеличивающийся спрос, вызванный культурными особенностями использования автомобиля.

Окончательными и наиболее фундаментальными воздействиями автомобиля могут быть географические закономерности распределения населения, на которые он оказал основное влияние. В особенности в таких малонаселенных и высокоразвитых странах, как Канада и Австралия, автомобиль привел к рассеянной модели развития поселений и бизнеса, которая в противном случае неустойчива. Отсутствие достаточной плотности населения вдоль потенциальных коридоров массового транзита делает общественный транспорт неэкономичным во многих таких областях, даже там, где абсолютная плотность населения, по видимому, предвещала бы другое (например, в густонаселенном пригородном Нью-Джерси). Эта модель транспортной инфраструктуры, однажды возникнув, обладает высокой сопротивляемостью к изменениям в краткосрочном периоде, если нет других причин, кроме той, что частные дома и коммерческие здания используются десятилетиями. Кроме того, не кажется, что эти тенденции уменьшаются. Данные показывают, что число пассажиров, использующих общественный транспорт в большинстве городских центров, невелико и что спрос на использование автомобиля продолжает расти. Таким образом, высокий спрос на личный транспорт, т.е. на автомобиль, тесно связан с физической структурой стран по всему миру.

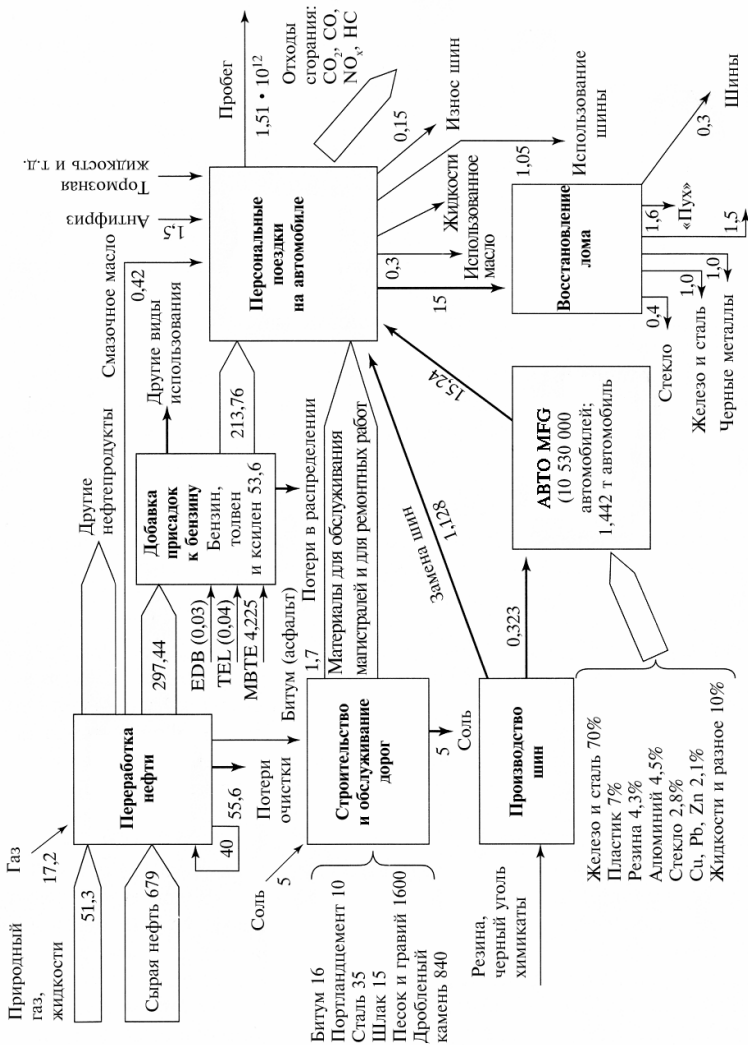


Рис. 24.3

Массопоток через систему автомобилестроения США в 1998 г. (Адаптировано из R. U. Ayres and L. W. Ayres, Use of materials balances to estimate aggregate wastes, in P. C. Schulte, ed., *Measures of Environmental Performance and Ecosystem Condition*, Washington, DC: National Academy Press, 96—156, 1999.)

Это обсуждение иллюстрирует ценности изучения систем, а также их компонентов и учета полного спектра культурно-экономических воздействий на окружающую среду. Нельзя сказать, что технологическая революция не может выполнять важную роль в сокращении воздействия на окружающую среду даже там, где культурные особенности существенны. Разумеется, DfE и другие методологии, исследованные в этой книге, пытаются сделать это использованием подхода жизненного цикла к работе и проектированию автомобилей. Мы, безусловно, находимся в лучшем положении, поскольку автомобили сегодня гораздо более экологичны, чем были в прошлом. Однако пока мы не научились управлять системами, которые связывают технологии, общество и окружающую среду.

## 24.2 МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 24.2.1 КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ

Как только определена рассматриваемая система, следующим логичным шагом будет желание определить, как эта система работает. Например, в системе производства и использования автомобиля как использование автомобиля соотносится с характеристиками инфраструктуры и культуры, в рамках которой он должен работать? Интеллектуальная конструкция, которая пытается описать эти взаимосвязи, называется моделью.

В биологической экологии общая цель моделей заключается в оценке того, как индивидуальное поведение растений и животных, связанное с добычей и использованием ресурсов, и их взаимодействие друг с другом приводят к наблюдаемым крупномасштабным и временным распределениям особей. При успешной реализации результаты помогают понять как биологию видов, так и потребление ресурсов. Аналогично в промышленной экологии конечная цель моделей — описание динамических промышленно-экологических систем, состоящих из разнородных частей. Как и в биологии, здесь существует проблема переключения масштаба: как выбор проекта в микромасштабе (например, на заводе) определяет темпы использования ресурсов или воздействий на окружающую среду на мезо- и макро-



уровнях и как изменения технологических или общественных систем могли бы отражаться в крупномасштабных эффектах? Это обескураживающие, но важные вопросы, и построение моделей, в рамках которых можно их рассматривать, разумеется, задача сложная. Модели — это формулировки, обычно математические, которые пытаются представить некоторую часть реального мира. В промышленной экологии модели некоторым образом связаны с добычей и использованием ресурсов и их экологическими последствиями. Модели могут разрабатываться с одной или всеми следующими целями:

- разобраться, понимаем ли мы поведение рассматриваемой системы;
- предсказать поведение рассматриваемой системы в ответ на изменение одного или нескольких факторов или ограничений;
- подготовить руководство для лиц, принимающих решения в данной области.

Модели можно охарактеризовать рядом способов. Один из наиболее важных — это используемый временной подход. Наиболее распространена разработка *статичной модели (static model)*, которая пытается воспроизвести события одномоментно, как на моментальном снимке. Более претенциозна *динамическая модель (dynamic model)*, которая пытается следовать за системой, в то время как та развивается во времени. Динамическая модель требует более детального знания взаимодействий и пороговых значений, чем статическая. В системных терминах статическая модель подходит для простых систем, в то время как сложные системы могут быть лучше всего изучены с использованием динамических моделей.

Вторая важная характеристика — пространственный подход модели. Многие модели вовсе не имеют пространственного аспекта — они определяют географические границы систем и затем вычисляют характеристики взаимодействий, как если бы они происходили средними темпами во всех точках системы. Этот подход применим для многих проблем, в особенности там, где данные, обеспечивающие модель, — редки. Пространственно-дискретные модели значительно более сложные: они обычно требуют вспомогательных данных в таком же пространственном масштабе, как и модель, вместе с представлениями процессов,

работающих в диапазоне параметрических, а не средних значений. В особенности в исследованиях воздействия на окружающую среду, где высокочувствительная экосистема может быть расположена рядом с менее чувствительной, пространственная размерность часто бывает очень значимой.

Построение и использование модели включает следующие этапы:

- определение соответствующих характеристик системы, которую вы хотите понять;
- определение масштаба модели и ее временного и пространственного аспектов;
- идентификацию основных агентов или основных процессов;
- определение интерактивных взаимодействий между основными агентами или процессами;
- математическое описание взаимодействий;
- определение начальных условий;
- решение уравнений модели для рассматриваемой ситуации;
- интерпретацию результатов.

Не существует правильной модели системы, поскольку модели могут быть построены для множества различных целей и видов использования. В нашем автомобильном примере, возможно, захочется исследовать зависимость между использованием автомобилей и качеством воздуха, в которой при модернизации не были бы учтены компоненты социальной структуры. С другой стороны, может возникнуть желание исследовать, как социальная структура связана с рециклированием автомобиля, и исследование сети дорог, возможно, не понадобится. Масштаб модели, как и масштаб LCA, во многом определяет последующую реализацию.

#### **24.2.2 ЖЕЛЕЗО И СТАЛЬ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ: ПРИМЕР МОДЕЛИ**

Пример промышленно-экологической модели был создан в 2000 г. University of Surrey для металлургической и сталелитейной промышленности Великобритании. Диаграмма системы показана на рис. 24.4.

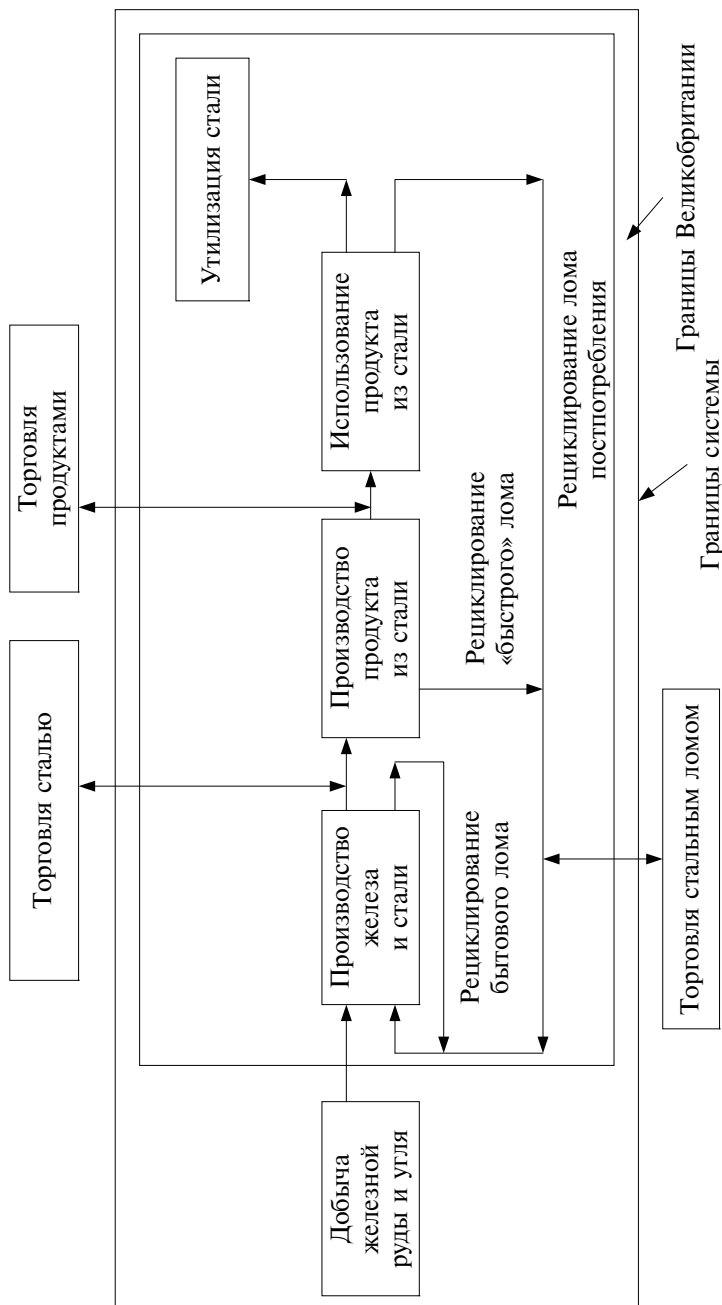


Рис. 24.4  
Модель сталелитейной промышленности в Великобритании

Модель не имеет пространственного аспекта, но является динамической, позволяя вычислить ряд ежегодных параметров на период в несколько десятилетий. Был сделан ряд упрощений для простоты отслеживания, например предположение о среднем сроке жизни для всех используемых стальных продуктов.

В дополнение к определению нескольких потоковых величин (объема нового лома или уровня рециклирования после использования) модель использует средние значения доли экзергии (доли доступной энергии) от производства железа и стали, транспорта, производства отходов стали, торговли и рециклирования для вычисления потребления экзергии. На рис. 24.5 показан пример для фазы производства железа и стали. За 40-летний период анализа потребление экзергии упало более чем на 50%.

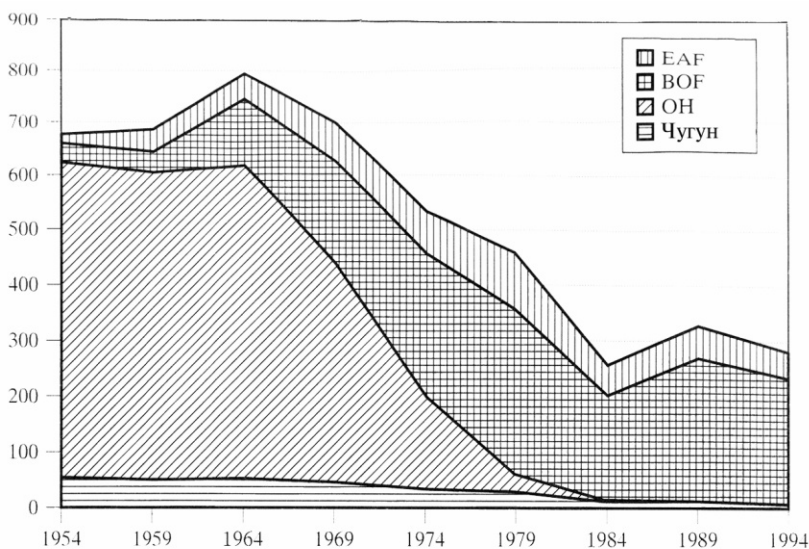


Рис. 24.5

Ежегодное потребление экзергии различными методами производства железа и стали в Великобритании. EAF — дуговая электропечь, BOF — процесс с кислородным конвертером, OH — процесс с открытым металлоприемником (P. Michaelis and T. Johnson, Material and energy flow through the U.K. iron and steel sector. Part 1: 1954—1994, *Resources, Conservation, and Recycling*, 29, 131—156, 2000.)

Это имело три причины: (1) сокращение потребления экзергии на тонну выпуска каждого процесса, (2) замена процесса с открытым металлоприемником более эффективными процессами с кислородной и электродуговой печами и (3) более низким общим темпом производства железа и стали.

### 24.2.3 ПРОВЕРКА МОДЕЛИ

Как узнать, обоснованы ли результаты работы модели? Типичный результата модели состоит из вычисленных значений ряда зависимых переменных. В идеале эти данные сравниваются с реальными данными для условий, подобных тем, что были смоделированы. В британской модели стали, например, можно видеть, соответствуют ли потоки лома затратам лома в производстве и данным по торговле ломом. Это дает начальную меру достоверности. Если модели не удастся воспроизвести данные, модель в чем-то ошибочна, и изучение этих отклонений часто дает ключ к пониманию. Наконец, модель может быть использована для разработки прогнозов, скажем, для стали, выпущенной в 1995 г., и их оценки по реальным измерениям. После выполнения множества таких шагов говорят, что модель *проверена*. Результаты модели для неизмеряемых параметров, таких, как потребление экзергии в британском производстве стали в 1965 г., может затем рассматриваться как, вероятно, хорошее представление о реальной ситуации.

Проверенная модель — модель, которая не содержит известных или определяемых ошибок и внутренне согласованна. Это не означает, что результаты моделирования обязательно отражают поведение реального мира. Результаты отчасти зависят от качества и количества входных данных, точности, с которой представлены процессы, и широты тестирования модели. Модель могла бы генерировать результаты, которые разумны и полезны в одном пространственном или временном масштабе, но не в другом. В зависимости от цели модели это может быть полностью удовлетворительно.

Наоми Орескес (Naomi Oreskes) из Dartmouth College и ее коллеги написали о допустимом использовании моделей, которые нельзя рассматривать как «абсолютно правильные»:

«Модели могут подкреплять гипотезу, предлагая свидетельства для усиления того, что может быть уже частично определено другими способами. Модели могут объяснять противоречия в других моделях. Модели также могут использоваться для анализа чувствительности — для изучения вопроса «что если», объясняя этим, какие аспекты системы больше всего нуждаются в дальнейшем исследовании и где необходимо больше эмпирических данных. Поэтому основную ценность моделей представляет эвристика: модели — это представления, полезные для направления дальнейших исследований, но не поддающиеся проверке».

## 24.3 ОПИСАНИЕ ВОЗМОЖНОГО БУДУЩЕГО

### 24.3.1 ПОЛЕЗНОСТЬ СЦЕНАРИЕВ

Удачная модель означает, что система достаточно хорошо понятна, так что факторы, которые воздействуют на нее, известны и их влияние можно определить по крайней мере с достаточной точностью. Модель затем может быть использована в прогнозическом режиме: могут быть сделаны предположения, касающиеся параметров воздействующих функций в будущем, после чего модель можно использовать для выработки реалистических планов. Модели обычно наиболее полезны для «определенных систем», т.е. систем, которые развиваются в соответствии с хорошо определенными естественными законами (хотя детерминированная система может по-прежнему быть очень сложной, например, как климат). Человеческие системы, включая экономические и промышленные, добавляют к сложности дополнительный элемент: случайность, связанную с выбором. Это означает, что практически мы не только не знаем, но и не можем знать, в каком направлении будут развиваться промышленность, использование материалов, культура и общество. Соответственно люди, например, специалисты по бизнес-планированию, которые пытаются прогнозировать и понимать возможные будущие промышленные системы, часто используют методы, которые менее формальны и строги, чем моделирование: распространенный подход — разработка вариантов вероятного «будущего», или сценариев, и исследование последствий каждого из них.

Сценарий промышленной экологии может принять любую форму и использовать любую соответствующую пространственную или временную шкалу. Глобальная шкала часто самая простая, поскольку она избегает сложностей передачи ресурсов между странами, например, и может изучать общие вопросы темпов добычи, использования, рециклирования и потерь. Если бы сценарии основывались на предположении о неизменности текущих уровней потоков и темпов изменения этих уровней, проекция влияющих факторов проста. Если предположить, что некоторые секторы или регионы будут расти быстрее других или что природоохранная технология со временем изменится, потребуются более сложные сценарии.

Сценарии — это не прогнозы, а интеллектуальные исследования. Они ставят проблему: «Предположим, мир (регион, промышленный сектор и т.д.) развивается так-то и так-то. Что это означает для зависимых характеристик, в которых я заинтересован?» Те, кто создает сценарии, часто рекомендуют три рабочих сценария — наиболее вероятный, оптимистический и пессимистический. Задача заключается в том, чтобы охватить весь диапазон возможностей, не создавая так много вариантов, что анализ станет скорее сбивающим с толку, чем иллюстрирующим проблему. Если сценарный анализ показывает, что люди могут жить по любому из трех сценариев, они смогут чувствовать себя более уверенными по мере движения мира в будущее.

### 24.3.2 IMAGE-МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Одна из наиболее оригинальных попыток построения моделей и разработки сценариев, связанных с технологией и окружающей средой, — модель IMAGE\* Института здоровья людей и окружающей среды в Нидерландах (RIVM). Команда RIVM и ее международные сотрудники разработали модель и ее сценарий «здорового смысла» со следующими целями:

- связать отдельные научные и политические аспекты глобальных изменений в географически определенной форме;

---

\* Image model — модель изображений (*прим. перев.*).

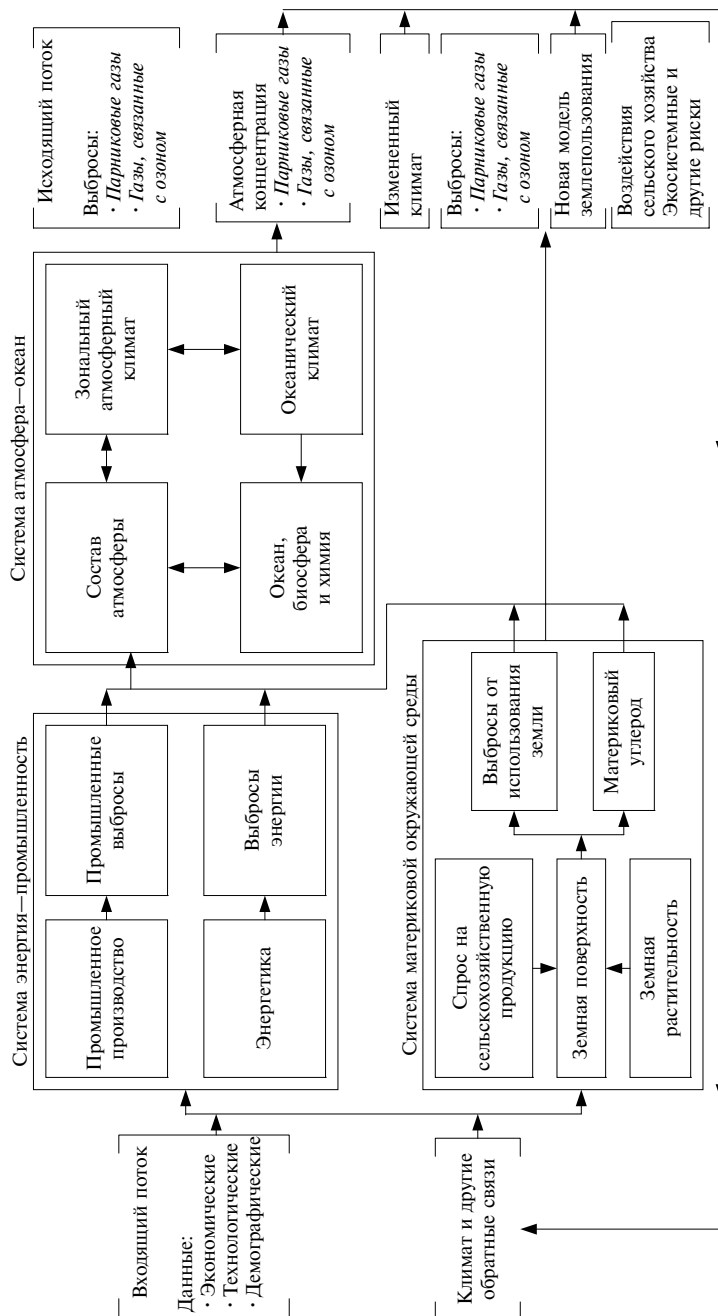


Рис. 24.6  
 Диаграмма потоков для модели IMAGE-2 глобальных изменений (J. Alcamo et. al., Global modelling of environmental change: An overview of IMAGE 2.1, in *Global Change Scenarios of the 21<sup>st</sup> Century*, J. Alcamo, R. Leemans, and E. Kreileman, eds., Kidlington, U.K.: Elsevier Science, 3–48, 1998.)



- обеспечить динамическое и долгосрочное видение (50—100 лет) изменения климата;
- обеспечить понимание перекрестных связей;
- обеспечить основу для издержек и выгод различных политических альтернатив.

Чтобы обратиться к этому плану, команда IMAGE создала модель, состоящую из трех взаимодействующих систем (рис. 24.6). Из-за того, что в центре внимания были парниковые газы, акцент в системе энергия—промышленность делался на использование ископаемого топлива, в материковой экологической системе — на изменении углерода в процессе вегетации и выбросах метана при выращивании риса и разведении скота. Модель геосистемы для системы атмосфера—океан берет входные параметры из двух сценарных моделей для того, чтобы вычислить будущие климатические условия.

Пространственный подход IMAGE интересен тем, что он свой для каждой из трех моделей.

- Модель системы энергия—промышленность использует разделение мира на 13 регионов. Для каждого из них она строит экономические, технологические и демографические предположения для вычисления будущего использования энергии и последующих выбросов.

- Модель окружающей среды материков разделяет всю поверхность Земли сеткой на квадраты  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ . Предположения касательно использования земли, сельскохозяйственного спроса и вегетативного роста используются для вычисления возможных выбросов парниковых газов с высоким пространственным разрешением.

- Модель атмосфера—океан разделяет широтные пояса по  $10^\circ$ , для которых вычисляются параметры изменения климата.

Значительная сила IMAGE заключается в том, что она в явном виде включает обратные связи. Если более теплый климат возникает в модели атмосфера—океан, этот измененный климат будет влиять на вегетацию в более поздние периоды времени, например. Эта характеристика, однако, требует, чтобы расчет одновременно проводился по трем системам модели, используя вычислительную мощь, которая может влиять на проблему.

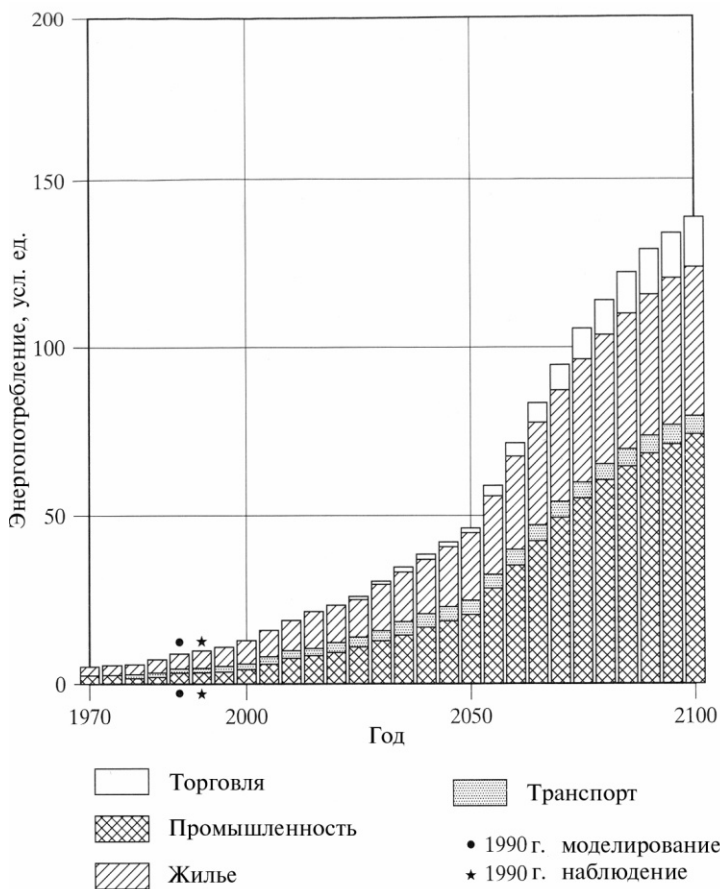


Рис. 24.7

Общее потребление энергии сектором для региона Индии и Южной Азии на период 1970—2100 гг. по результатам вычислений модели IMAGE (H.J.M. de Vries, J.G.J. Oliver, R.A. van den Wijngaart, G.J.J. Kreileman, and A.M.C. Toet, Model for calculating regional energy use, industrial production and greenhouse gas emissions for evaluationg global climate scenarios, *Water, Air and Soil Pollution*, 76, 79—131, 1994.)

Пример результатов для системы IMAGE энергия— промышленность показан на рис. 24.7; он иллюстрирует потребление энергии каждым сектором для Индии и Южной Азии в

1970—1995 гг. (реальное) и 1995—2100 гг. (прогнозное). Потребление по этому сценарию в течение этого периода вырастает примерно в 13 раз; самые крупные пользователи — промышленность и жилой сектор.

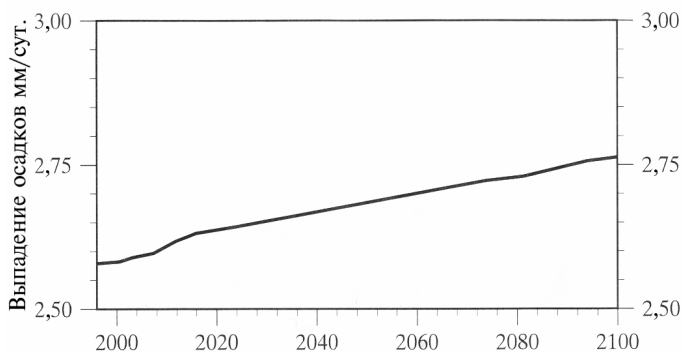


Рис. 24.8

Глобальное выпадение осадков в XXI в. по результатам вычислений IMAGE для сценария «здоровый смысл» (K. Klein Goldwijk, J.G. van Minnen, G.J.J. Kreileman, M. Vloedveld, and R. Leemans, *Simulating the carbon flux between the terrestrial environment and the atmosphere*, *Water, Air and Soil Pollution*, 76, 199—230, 1994.)

Получив результаты по моделям энергия—промышленность и материковой окружающей среды, затем по модели атмосфера—океан вычисляют характеристики климата, определяемого сценарием. Пример результатов для сценария «здоровый смысл» показан на рис. 24.8. Ежегодное глобальное испарение по этому сценарию в соответствии с прогнозом будет возрастать приблизительно на 7% за столетие. Этот рост будет довольно разнообразен пространственно и, как полагают, может привести к значительному затоплению и другим локальным климатическим изменениям в наиболее сильно затронутых областях.

### 24.3.3 СЦЕНАРИИ ИРСС 2000

Интерес к сценариям в промышленной экологии частично связан с потенциальным использованием результатов сценарных моделей в выявлении возможных экологических условий в бу-

дущем и в изучении политических последствий, к которым приводит это понимание. Концептуальный подход, возможно, наиболее известен из построения сценариев, разработанных Межправительственной комиссией по изменению климата (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) для анализа потенциального изменения климата, воздействий и способов предотвращения.

Осенью 2000 г. IPCC выпустила несколько новых сценариев. Как и в их более ранней версии в 1992 г., эти сценарии направлены на выбросы парниковых газов и, таким образом, уделяют особое внимание сжиганию ископаемого топлива, сельскому хозяйству и другим видам связанной с парниковыми газами (GHG) деятельности. Были предложены четыре семейства сюжетов и сценариев.

1. Семейство сюжетов и сценариев A1 описывает будущий мир с очень быстрым экономическим ростом, мировой численностью населения, которая достигает максимума в середине века и после этого падает, и быстрым введением более эффективных технологий.
2. Семейство сюжетов и сценариев A2 описывает мир, ориентированный на регионы, в котором локальная тождественность имеет большое значение, а экономическое развитие и технологические изменения происходят довольно медленно.
3. Семейство сюжетов и сценариев B1 описывает мир, похожий на A1, но с быстрыми изменениями в сторону экономики услуг и информации, более низкой материалонапряженностью и высокой степенью предотвращения загрязнений.
4. Семейство сюжетов и сценариев B2 описывает мир с уверенностью в своих силах A2, но с целью B1 локальной и региональной устойчивости.

Многие характеристики развития и его последствий возникают из сценариев IPCC, например глобальные выбросы диоксида углерода, подразумеваемые сценариями и показанные на рис. 24.9. Большинство сценариев предусматривают образование выбросов CO<sub>2</sub> в 2—3 раза больше уровня 1990 г., но в наиболее экстремальном случае выбросы больше в 10 раз. Эти сценарии выбросов затем даются разработчикам глобальных моделей кли-

мата, чтобы они могли рассчитать возможные будущие климатические условия. Пример результатов оценки IPCC 2001 г. показан на рис. 24.10. Рисунок показывает, что существует значительный разброс прогнозов подъема уровня моря, поскольку прогнозы делаются с точки зрения разнородных множеств сценариев для деятельности человека в XXI в. Среднее значение подъема уровня моря по этой модели составляет примерно 35 см. Если это произойдет, то, по общему мнению, расположенные в низменностях страны, такие, как Мальдивы или Бангладеш, серьезно пострадают, и вдоль побережий в странах по всему миру ущерб и дорогие последствия будут распространенным явлением. Как увеличение осадков, так и изменение уровня моря, таким образом, находятся среди ожидаемых эффектов глобального изменения климата, и модели служат инструментами, используемыми для оценки возможной степени этих изменений.

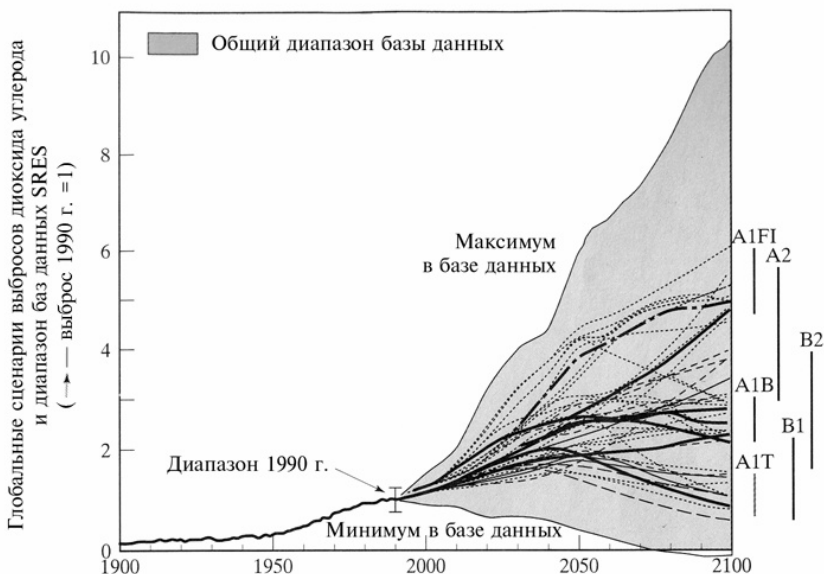


Рис. 24.9

Выбросы диоксида углерода в XXI в. для семейства сценариев IPCC 2000 (Intergovernmental Panel on Climate Change, *IPCC Special Report: Emission Scenarios*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2000.)

## 24.4 РАЗВИТИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Цель системного анализа, моделей и сценариев заключается в достаточно хорошем понимании системы технология—окружающая среда, чтобы делать прогнозы о том, как в будущем могут развиваться взаимоотношения и какими могут быть возможные политические инициативы или вмешательства. Нельзя серьезно принимать прогнозы до тех пор, пока мы не поймем современную систему достаточно хорошо, чтобы моделировать ее. За исключением парникового газа, влияющего на глобальное изменение, эти виды деятельности в промышленной экологии находятся в зачаточном состоянии.

Таким образом, потенциальная цель для промышленной экологии — разработка своего собственного множества сценариев для XXI в. Эти сценарии должны быть значительно более широкими, многомерными и междисциплинарными чем, например, сценарии ИРСС. Такие сценарии могут начинаться с моделей ИРСС и строиться на их основе, чтобы обеспечивать больше подробностей, касающихся социальных, политических и технологических аспектов. Например, если бы промышленность должна была развиваться с темпом 1% в год, какой технологический прогресс это бы означало? Реалистичен ли такой прогресс? Каким было бы возможное использование редких ресурсов? Что подразумевает такое использование в экологическом плане, в социологическом и экономическом для тех стран, которые поставляют ресурсы? Дополнительные сценарии могут изучить, как мир мог бы быть трансформирован в результате инъекции высоких технологий в наиболее быстро развивающиеся, населенные страны или как крупная региональная война может повлиять на поставку ресурсов и воздействия на окружающую среду. Предположим, что политические организации разных стран отклонили передачу технологий. Каковы затем были бы региональные или глобальные последствия? Процесс разработки таких сценариев потребовал бы значительной междисциплинарности и международных усилий, и в этом процессе можно было бы многому научиться.

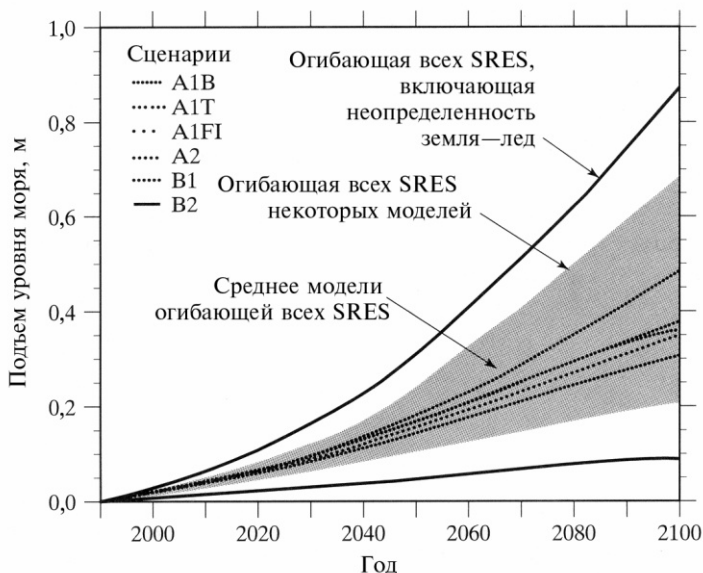


Рис. 24.10

Глобальный средний подъем уровня моря по результатам вычислений с помощью различных глобальных моделей изменения климата, основанных на семействе сценариев IPCC 2000. SRES — Специальные сценарии отчета по выбросам (Special Report on Emissions Scenarios) (*Climate Change 2001: The Scientific Basis, Third Assessment Report, Working Group I, Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc.ch, 2001.*)

После развития промышленная экология станет более продуктивной, с лучшим пространственным разрешением и станет, таким образом, неизбежной на политическом уровне. В этот момент промышленная экология начнет функционировать для изменения работы системы не только на микроуровне (отдельного продукта или корпоративного предприятия), но на всех уровнях, включая уровень планеты в целом.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Hammond, A., *Which World? Scenarios for the 21st Century*, Washington, DC: Island Press, 1998.

Intergovernmental Panel on Climate Change, *IPCC Special Report: Emissions Scenarios*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2000.

Levin, S.A., B. Grenfell, A. Hastings, and A.S. Perelson, Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystems science, *Science*, 275, 334–343, 1997.

Low, B., R. Costanza, E. Ostrom, J. Wilson, and C.P. Simon, Human-ecosystem interactions: A dynamic integrated model, *Ecological Economics*, 31, 227–242, 1999.

Oreskes, N., K. Shrader-Frechette, and K. Belitz, Verification, validation, and confirmation of numerical models in the Earth sciences, *Science*, 263, 641–646, 1994.

Schneider, S.H., Integrated assessment modeling of global climate change: Transparent rational tool for policy making or opaque screen hiding value-laden assumptions? *Environmental Modeling and Assessment*, 2, 229–249, 1997.

Schneider, S.H., What is «dangerous» climate change?, *Nature*, 411, 17–19, 2001.

Strogatz, S.H., Exploring complex networks, *Nature*, 410, 268–276, 2001.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 24.1** На рис. 6.1. показана система технологии производства автомобилей. Постройте подобную диаграмму для системы фармацевтической технологии. Опишите изменение технологи, которое оказало бы заметное воздействие на систему. Сделайте то же самое для культурного изменения и для изменения правительственной политики.
- 24.2** Разработайте три сценария на следующие три десятилетия для географического региона, в котором вы проживаете. (Вы можете выбрать масштаб, но не более чем национальный.) Каковы характеристики ваших сценариев? Какие политические программы здесь можно предложить и когда их следует рассмотреть?
- 24.3** Разработайте схему для модели жизненного цикла твердого пластика (т.е. не мешков и не оболочки) в городе. Схема должна походить на рис. 24.4, но раскройте более детально этап использования. Какую информацию будет просто получить, какую сложно? Если создается такая модель, каких полезных результатов можно ожидать?



## Г Л А В А 25

# Инжиниринг и менеджмент геосистем

### 25.1 ПРЕДСТАВЛЯЯ КОНЦЕПЦИЮ

Традиционный инжиниринг — это искусство трансформирования материалов для удовлетворения человеческих потребностей или желаний. Взаимодействие технологии и природных систем планеты долгое время не рассматривалось. Неудивительно, что впоследствии, в результате промышленной деятельности, природные системы часто разрушались, либо мгновенно либо со временем.

Большая часть промышленной экологии и, разумеется, большая часть этой книги направлены на такое изменение нашего технологического общества, чтобы сократилось или было исключено воздействие на окружающую среду. В сущности это превентивный подход. Другие виды инженерной деятельности, которые можно было бы отнести к промышленной экологии, связаны с попытками управлять геосистемами, находящимися под влиянием деятельности человека: мы называем это инжинирингом и менеджментом геосистем (*Earth systems engineering and management*, ESEM).

ESEM — это новая область исследований, возникающая на стыке тенденций различных областей. Этот подход происходит из того же понимания сути вещей, что лежит в основе промышленной экологии: в результате промышленной революции и связанных с ней изменений культуры, технологий, экономических систем, численности населения и экономической деятельности динамика многих основных природных систем становится все более подчинена деятельности единственно человека. Примеры подвергнувшихся воздействию природных систем включают углеродный, азотный, серный, фосфорный и водный циклы; атмосферные и океанические системы и биосферу в масштабах от генетического уровня до уровня видов и сообществ.

Мнение, что во многих природных системах сейчас господствует человек, не ново. Оно было ярко выражено более сотни лет назад в классической книге «Человек и природа» Джорджа Перкинса Марша («Man and Nature» George Perkins Marsh).

Уильям Кларк (William Clark) из Harvard University's Kennedy School отметил в специальном выпуске Scientific American 1989 г., названном «Управляя планетой Земля» («Managing Planet Earth»): «Сознательное, разумное управление землей — одна из великих проблем, с которыми сталкивается человечество, подходя к XXI веку». Что в настоящий момент уникально, так это масштаб воздействий человека и все большее объединение деятельности человека с различными природными системами. Это и было и сейчас особенно очевидно в аспекте глобального изменения климата, выяснения причин его происхождения и, возможно, того, как можно уменьшить это изменение с помощью новых технологий.

Формально ESEM — это инжиниринг и менеджмент геосистем (включая антропогенные системы) для обеспечения функций, связанных с деятельностью человека, этическими методами. Важные элементы этого определения включают трактовку человеческих и природных систем как взаимозависимых комплексов для рассмотрения с общих позиций, а также понимания того, что эти необходимые функции включают не только желаемый результат на выходе технологической системы, но также уважение и защиту соответствующих аспектов связанных природных систем. Это может включать такие феномены, ценные для человека, как эстетика или экосистемные услуги, регулирование стока, сохранения биологического разнообразия или глобального водного цикла, в качестве независимых ценностей.

Одно важное различие между ESEM, традиционными инженерными дисциплинами и большей частью практики промышленной экологии на сегодняшний день достойно того, чтобы обратить на него внимание. В то время как практически все виды инженерной деятельности отражают аспекты культуры, в рамках которой они существуют, деятельность ESEM требует, чтобы особое внимание уделялось культурной, религиозной, политической и институциональной динамике.

## 25.2 ПРИМЕРЫ ESEM, РЕАЛИЗОВАННЫЕ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ

Какой уровень сложности или какой пространственный масштаб соответствует понятию геосистемы? Другими словами, какой уровень воздействия на природный мир соответствует ин-

жинирингу и менеджменту геосистем? Ответ становится неоднозначным, как только мы спускаемся с планетарного масштаба до все более умеренных воздействий и, в конце концов, до уровня семейного сада, но сложность определенно существует вне зависимости от того, насколько может быть велика или мала эта система. Возможно, отличие заключается в том, что ESEM имеет дело с трансформациями, а не с пертурбациями. Для удобства мы будем использовать здесь подход, заключающийся в том, что ESEM приложима к любой природной системе, которая подвергалась значительному воздействию со стороны человека, понимая то, что высокоточное определение не очень важно для нашей цели и его трудно дать в любом случае.

### **25.2.1 ВОССТАНОВЛЕНИЕ «КОРИЧНЕВЫХ ПОЛЕЙ»**

Наиболее распространенный пример ESEM малого масштаба — восстановление «коричневых полей», мест, которые исторически использовались для промышленных целей и были загрязнены захоронениями или стоками растворителей тяжелых металлов или других опасных химикатов. Эти объекты обычно находятся на городских территориях и поэтому расположены рядом с центрами концентрации населения, общественного транспорта и объектов городской инфраструктуры, т.е. обладают характеристиками, которые обычно делают восстановление гораздо более предпочтительным, чем отказ от этих территорий. Наиболее распространен метод восстановления с удалением загрязненной почвы, транспортировкой ее в малонаселенный район и глубоким захоронением. С другой стороны, объект может быть восстановлен только до степени, которая делает возможными определенные новые виды использования, совместимые с состоянием восстановления.

### **25.2.2 ОЧИСТКА ВОД**

Водный аналог восстановления «коричневых» полей — очистка рек, озер и гаваней, которые были загрязнены стоками или захоронениями загрязняющих веществ. Осадки удаляются из-под воды и обрабатываются таким же способом, что и загрязненная почва с «коричневых полей». Драгирование часто бывает спор-

ным, поскольку в результате восстановления загрязняющие вещества могут попасть в воду, а не остаться в осадке. Решения принимаются в каждом конкретном случае, в зависимости от характеристик загрязняющего вещества и осадка.

### 25.2.3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ БОЛОТ В РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБЕ

Восстановление значительно нарушенных болот направлено на воссоздание исторических водных потоков и связанных с ними земных и водных сообществ. При осуществлении в малом масштабе — это сложный и не очень хорошо понятный пример восстановительной экологии. При осуществлении в большом масштабе, как в районе Болотистых равнин Южной Флориды, оно поднимается до уровня крайне противоречивого процесса ESEM. Экосистема Болотистых равнин за прошедшее столетие была изменена ограничением и направлением потоков воды на растущее сельскохозяйственное, бытовое и коммерческое потребление. Сейчас около 3 000 км каналов отводят 7 млн куб. м воды в день. Природные циклы, которые когда-то определяли систему, были подвергнуты серьезному воздействию, связанному с особенностями расселения людей, с сельскохозяйственными, туристическими, промышленными и транспортными системами. В ответ на ясные свидетельства кризиса экосистемы (например, успешное гнездование птиц сократилось на 95% в середине 1930-х годов) был предложен основной проект восстановления, особенности которого показаны на рис. 25.1, где 1 — хранилище к северу от оз. Окихоби; 2 — область хранения и переработки Тейлор Крик / Наббин Слоу; 3 — водоохранные территории лагуны Индиан Ривер: хранение в бассейнах Северного и Южного Форка С-23, 24, 25, 44; 4 — вода устья Сент-Лусии; 5 — ASR оз. Окихоби; 6 — модификация и хранилище L-8; 7 — структуры внутренних каналов WCA-1; 8 — водоохранные области: надземное хранение, управление ASR и утечками; 9 — охрана вод Нижнего восточного побережья и побочные каналы Броуард; 10 — водоохранные области: хранилище северного и центрального пояса озер; 11 — повторное использование в восточном и южном Майами-Дейд; 12 — болота на побережье за-

лива Бискай; 13 — канал С-111N; 14 — менеджмент утечек через дамбу L-31; 15 — процессы в Болотистых равнинах, связанные с дождями; 16 — частичное объединение водоохранной области 1 и Национального парка Болотистых равнин; 17 — модификация Big Cypress / L-281; 18 — модификация насосов G-404 и S-140; 19 — хранилище сельскохозяйственной области Болотистых равнин (ЕАА); 20 — водное питание дельты Калусахачи; 21 — бассейн Калусахачи с ASR и нагнетание вод Калусахачи с STA; 22 — пересмотренная схема регулирования оз. Окихоби. Очевидно, однако, что Болотистые равнины долгое время были, являются сейчас и будут оставаться продуктом человеческого проектирования. Болотистые равнины будущего будут представлять собой инженерные системы, которые будут демонстрировать те цели проектирования (схемы водных потоков, экосистемы флоры и фауны и т. д.), которые выберут люди. Проблема, с которой приходится сталкиваться, заключается не в том, чтобы восстановить некоторое гипотетическое состояние прошлого, но в осуществлении этичного и рационального выбора при рассмотрении системы в том виде, в котором она существует сейчас.

#### 25.2.4 БОРЬБА С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ

Глобальное потепление — это феномен, в котором антропогенные выбросы газов в атмосферу приводят к росту поглощения инфракрасного излучения. Основной антропогенный парниковый газ — диоксид углерода, хотя метан, хлорфторуглероды, оксид азота и другие газы также вносят свой вклад. Из-за потенциальной серьезности глобального потепления был предложен ряд подходов к его предотвращению. Мы обсуждаем их ниже.

**Улавливание диоксида углерода.** Выбросы диоксида углерода, основного антропогенного парникового газа, человеком, не являются феноменом только промышленной революции. Фактически первоначальные изменения концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  возникли из-за обезлесения Европы и Северной Африки между X и XIV вв. Гораздо позже изобретение двигателя внутреннего сгорания и развитие автомобильной промышленности существенно увеличили выбросы диоксида углерода. В то время как использование

ископаемого топлива в современном мире растет, содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере также продолжает расти. Возможную альтернативу ESEM представляет улавливание диоксида углерода из отходящих из газов дымовых труб, сжижение их и закачивание их под землю или под морское дно, в геологические формации. Там они могут находиться практически бесконечно.

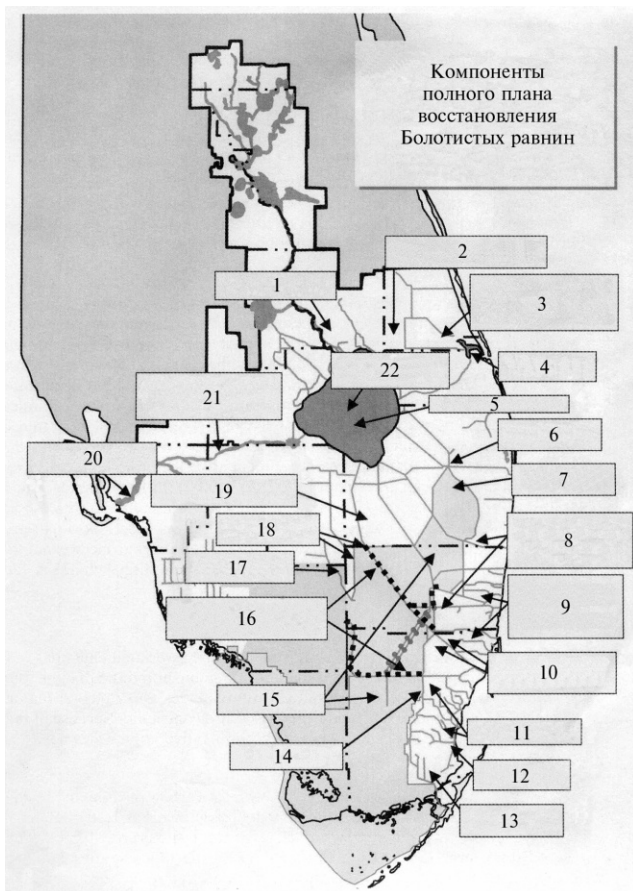


Рис. 25.1

План восстановления Болотистых равнин Флориды 2001 г. (Воспроизведено с [www.evergladesplan.org](http://www.evergladesplan.org))

Строго говоря, улавливание  $\text{CO}_2$  в выбросах электростанций относится не к ESEM, а к контролю выбросов, равно как улавливание летучих органических газов до того, как они могут покинуть промышленные предприятия. Однако в традиционном использовании все предложения по борьбе с глобальным потеплением имеют тенденцию быть включенными в рамки ESEM. Безотносительно того, как это классифицируется, если теплоэлектростанция разработана для сжигания углеродосодержащих ресурсов, перевода продуктов сгорания прямо в долгосрочные запасы и производства энергии в виде электричества или водорода, перспектива по взаимодействию процесса выработки энергии с окружающей средой претерпевает фундаментальные изменения. Как показано на рис. 25.2, вместо того чтобы быть частью серьезной экологической проблемы — крупным эмитентом парниковых газов — электростанция становится частью решения, фактором управления атмосферными концентрациями парниковых газов.

**Улавливание углерода с помощью вегетации.** Улавливание  $\text{CO}_2$ , как сказано выше, направлено на предотвращение выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Но если он туда попадает, другой потенциальный подход ESEM должен удалить некоторую его долю. Один из методов, достаточно широко распространенный, заключался в посадке быстрорастущих деревьев, поскольку атмосферный  $\text{CO}_2$  расходуется на образование целлюлозы. Ясно, что лесовосстановление в ранее покрытых лесом территориях сохранит  $\text{CO}_2$  по крайней мере на некоторый период времени, хотя темп поглощения и замедляется со старением деревьев. Степень долгосрочной выгоды не вполне понятна, но посадка деревьев имеет и много других выгодных аспектов, кроме сохранения углерода, и ее можно широко использовать. Однако увеличенное предложение биомассы поднимает другие вопросы: может ли значительный рост производства биомассы осуществляться таким образом, чтобы избежать дестабилизации глобального азотного цикла? Насколько значимы генетически модифицированные формы биомассы (например, деревья, модифицированные для связывания их собственного азота) для реализации этого плана? Снова перед нами ставится задача рассматривать любое действие с очень широкой системной точки зрения.



Рис. 25.2

Комплекс Слейпнер (Sleipner) по добыче природного газа/конденсата в Северном море, вблизи побережья Норвегии. Природный газ в этом регионе обычно содержит около 9%  $\text{CO}_2$ , но до момента продажи следует добиться содержания менее 2,5%. Большая платформа имеет оборудование по добыче и конденсации природного газа, в то время как меньшая платформа слева вмещает оборудование для улавливания  $\text{CO}_2$

**Секвестрация углерода морскими организмами.**  $\text{CO}_2$  служит строительным элементом для фитопланктона — морских микроорганизмов, которые осуществляют почти половину всего фотосинтеза на земле. Воспроизводство и рост этих организмов ограничены в большинстве океанов количеством доступных питательных веществ, в особенности железа. Поэтому в начале 1990-х годов было предложено «удобрять» океаны железом, чтобы результирующий рост организмов удалил значительный объем  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Распространение удобрения по поверхности океана регулярно и в большом масштабе представляет собой крайне амбициозный проект. Были проведены несколько экспериментов для оценки возможности осуществления этой идеи. В наиболее обширном из этих экспериментов в Южном океане\*, к югу от Тасмании, было стимулировано увеличение роста биомассы фитопланктона, которое поддерживалось в течение месяца. Но не было ясно, поступил ли поглощенный  $\text{CO}_2$  затем в

---

\* Околополярная часть Индийского, Тихого и Атлантического океанов; в российской географической науке как отдельный океан не выделяется. — *прим. ред.*



глубины океана, что потребовалось бы, чтобы считать подход эффективным. Помимо этого, возникает озабоченность по поводу непреднамеренных побочных эффектов, таких, как дезоксигенация глубокого океана и разрушение структуры морских пищевых сетей. При таком уровне научной неопределенности остается неясным, будет ли и в каком объеме применен этот подход.

**Рассеяние солнечного излучения с частями серы.** Другой возможный подход ESEM к избежанию глобального потепления связан не с  $\text{CO}_2$ , но, скорее, с тем, чтобы не допустить поток солнечного излучения до поверхности планеты. Эта идея была высказана несколько лет назад российским климатологом Михаилом Будыко, который предложил ежегодно подавать 35 тыс. т диоксида серы (около 25% объема, в настоящий момент образующегося при сгорании ископаемого топлива) прямо в стратосферу. Он подсчитал, что такое количество поступивших туда аэрозольных частиц сульфата значительно улучшило бы отражение солнечного излучения обратно в космическое пространство. Успех метода зависит от точного определения скорости перехода стратосферного диоксида серы в сульфат на всех широтах и во все времена года; но точно не известно, можно ли эту информацию получить. Однако по-прежнему требуют большего внимания логистические сложности доставки тысяч тонн частиц на высоту, близкую к предельной для современных воздушных судов флота из тысяч самолетов. Возможная альтернатива — загружать частицы серы в баллистические снаряды и выстреливать ими в стратосферу, используя орудия крупнейших в мире морских судов (несколько тысяч выстрелов в день, день за днем, год за годом). Для каждого из этих методов издержки измерялись бы десятками миллиардов долларов ежегодно, и потенциальные воздействия на окружающую среду оказываются весьма спорными.

**Отражение солнечного излучения с помощью зеркал в космосе.** В качестве альтернативы поступления рассеивающих частиц в верхние слои атмосферы предлагается направить на космических кораблях систему зеркал или других отражающих устройств в точку Лагранжа L1 (точка, находящаяся на линии Земля—Солнце, где на малый объект не действуют никакие нетто-силы), так чтобы объекты могли оставаться в этом месте и отражать излучение от по-

верхности Земли бесконечно долго (рис. 25.3). К сожалению, для этой идеи, в точке  $L_1$  будут ожидать смещающие силы гравитации других планет и других космических объектов, поэтому, чтобы оставаться на месте, объектам потребуется активная система позиционирования. Системы позиционирования включают в себе механические компоненты и сжатые газы, и предварительные оценки этой идеи подсказывают, что стабилизация космического корабля в течение долгого времени может оказаться непрактичной. Кроме того, разумеется, предприятие было бы крайне дорогим, не говоря о том, что проект был бы окружен политическими сложностями, а размер и отражательная способность устройств должны были бы быть определены очень точно, чтобы не нагреть или не охладить Землю больше, чем необходимо.

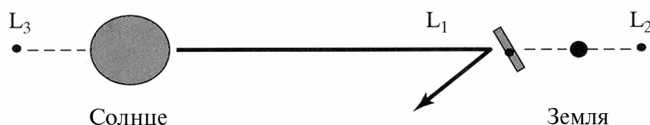


Рис. 25.3

Концептуальная диаграмма для солнечных рефлекторов, помещенных в точке Лагранжа  $L_1$  системы Земля—Солнце для сокращения потока солнечного излучения, падающего на Землю. Существуют пять точек Лагранжа, три из которых показаны (две другие — вершины равнобедренных треугольников, построенных на линии Земля—Солнце). Объекты, расположенные в этих точках, стабильны или почти стабильны, поскольку гравитационное и центробежное ускорение в точности уравновешивают друг друга.  $L_1$  составляет приблизительно 1% расстояния от Земли до Солнца

**ESEM глобального потепления.** Как мы уже видели, существует много способов использования технологии, экономической практики и культуры для изменения воздействия человека на углеродный цикл и климатические системы. Рис. 25.4 показывает, как можно собрать эти варианты в портфель вариантов, чтобы обеспечить управление углеродным циклом и климатом. С точки зрения ESEM, однако, также важно осознать, что существуют высокие уровни взаимосвязанности между фундаментальными природными и антропогенными циклами, которые не рассматриваются этими целенаправленными подходами.

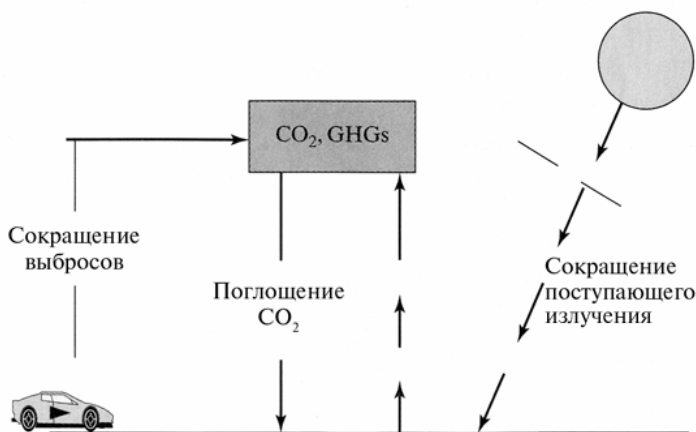


Рис. 25.4

Система потенциальных подходов ESEM для борьбы с глобальным потеплением

### 25.3 ПРИНЦИПЫ ESEM

Как подсказывают приведенные примеры, институциональных, культурных и познавательных возможностей для осуществления ESEM пока не существует. Этическая структура, необходимая для поддержки интегрированной деятельности ESEM, также отсутствует. Однако геосистемы, которые так сильно разрушены, что они становятся или угрожают стать нефункциональными, могут, тем не менее, потребовать от нас некоторых действий. В этих случаях можно обратиться к сегодняшнему опыту инженерных проектов сложных систем для разработки основного множества принципов ESEM, которые, будучи пока иллюстративными, создают операционную основу. Эти принципы могут быть сгруппированы в три категории: теорию, управление, проектирование и инжиниринг.

#### 25.3.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ESEM

Теоретические основы ESEM отражают сложность участвующих систем и наши уровни неосведомленности. Решающий прин-

цип в ESEM, таким образом — принцип предосторожности, из которого выводится ряд положений, приведенных ниже.

- Вмешиваться только тогда, когда это необходимо, и только в необходимой степени, поскольку минимальное вмешательство сокращает вероятность и потенциальный масштаб неожиданных и нежелательных реакций системы.
- Проекты и программы ESEM по своей природе — не только научные и технические, но неизбежно имеют мощные экономические, политические, культурные, этнические и религиозные приложения. Подход ESEM должен интегрировать все эти факторы.
- Излишний конфликт, окружающий проекты и программы ESEM, может быть сокращен, если признать различия между социальным инжинирингом (усилиями по изменению культур, ценностей и существующего поведения) и техническим. Оба они должны быть частью проектов ESEM, но это разные дисциплины, включающие разные вопросы и разные мировоззрения.
- ESEM требует отношения к характеристикам и динамике соответствующих систем как системам, а не как к сумме отдельных компонентов. Компоненты, естественно, тоже будет необходимо рассматривать: ESEM дополняет, а не заменяет традиционную инженерную деятельность.
- Границы вокруг инициатив ESEM должны отражать связи реального мира во времени, а не простоту дисциплины.
- Основные изменения технологий и технологических систем должны быть оценены до, а не после реализации политических программ и инициатив, разработанных для их поощрения. Например, поощрение опоры на плантации биомассы как усилия по избежанию глобального изменения климата не должно стать политикой до тех пор, пока не исследованы предсказуемые последствия — дальнейшее разрушение азотных, фосфорных и гидрологических циклов.

### 25.3.2 ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ESEM

Как обсуждалось в гл. 6, система глобального управления быстро развивается и становится более сложной. Эти изменения, в

особенности в сочетании с внутренней сложностью антропогенных и природных систем, вызывают вторую категорию принципов, включающих управление ESEM.

- Инициативы ESEM, по определению, поднимают важные научные, технические, экономические, политические, этические, теологические и культурные вопросы в условиях глобального государственного устройства. При необходимости согласия и долгосрочной вовлеченности единственная работающая модель управления — это модель содержательная, прозрачная и объяснимая.
- Модели управления ESEM, которые имеют дело со сложными, непредсказуемыми системами, должны принять высокий уровень неопределенности как внутренне присущий процессу. Разработка и использование политики должны пониматься как продолжающийся диалог с соответствующими системами, а не с определенной конечной точкой, поэтому следует усилить гибкость. Кроме того, к политике следует относиться как к части эволюционирующей системы ESEM, а не как к агенту вне системы, направляющему и определяющему ее.
- Непрерывное обучение на персональном и институциональном уровне должно быть встроено в процесс.
- Должны быть доступны соответствующие ресурсы для поддержки проекта, научных и технологических исследований и разработок, которые необходимы для гарантирования того, что реакции соответствующих систем понятны.

### 25.3.3 ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ESEM

Наконец, существует множество принципов, которые характеризуют проектирование и осуществление систем ESEM:

- Знать с самого начала, каковы желательные и разумно ожидаемые результаты любого вмешательства, и определить количественные метрики, с помощью которых может отслеживаться прогресс.
- В отличие от простых, хорошо известных систем, сложные, информационно насыщенные и непредсказуемые системы, которые являются предметом ESEM, не могут

быть централизованно или явно контролируемы. Вместо того чтобы находиться вне системы, инженер геосистем должен будет видеть себя как неотъемлемую часть самой системы, тесно связанную с ее эволюцией и испытывающую влияние ее динамики.

- Там, где это возможно, изменения, инжиниринг которых осуществляется, должны быть постепенными и безвозвратными, а не фундаментальными и безвозвратными. Любое увеличение масштаба должно допускать, чтобы в сложных системах потери непрерывности и неожиданные характеристики были правилом, а не исключением.
- Важной целью в проектах инжиниринга геосистем должно быть поддержание эволюции эластичности, а не только избыточности системы. Так, внутренне безопасные системы должны предпочитаться системам, которые спроектированы безопасными.

## 25.4 СТАЛКИВАЯСЬ С ВОПРОСАМИ ESEM

В то время как дискуссии о глобальном изменении климата дают, возможно, наиболее яркий пример перспективного ESEM, можно также упомянуть о продолжающихся усилиях по управлению Балтийским морем, региональными лесами для достижения их устойчивости, ограничению эксплуатации локальных и региональных рыбных угодий, и продолжающихся проблемах, вызванных вторгающимися видами. Этот последний пример — в большой степени продукт предыдущих особенностей миграции людей и иллюстрирует, что ESEM — не то, что люди только сейчас начали делать, но то, что мы веками оказывали открывающее воздействие на природные системы. Аналогично неразумно рассматривать глобальные сельскохозяйственные системы, тесно связанные торговлей и рынками товаров, как процесс ESEM — а, очевидно, как другой процесс, который продолжался столетиями.

По большей части экологический инжиниринг отличается от промышленной экологии, поскольку он в основном сконцентрирован на надлежащей переработке отходов и восстановлении относительно маломасштабных загрязненных объектов. Однако в той степени, в какой системные аспекты ESEM могут рас-

смагиваться в рамках промышленной экологии, ESEM потенциально объединяет эти две специальности. Менее важно спорить, принадлежит ли ESEM одному направлению или другому, чем понять, что ESEM в меньших масштабах по крайней мере представляет собой продолжающуюся деятельность, которая объединяет технологическое общество и окружающую среду сложными и проблематичными способами.

В табл. 25.1 приведены характеристики реализованных или предложенных проектов ESEM. Эта таблица преподает некоторые важные уроки. Интересно, почему некоторые предложения ESEM реализуются, а другие — нет. Таблица показывает, что реализация не связана с потенциальной серьезностью экологической проблемы, или с пространственным масштабом предлагаемого вида деятельности ESEM, или с пространственным масштабом воздействия. Она, однако, связана с тем, как общество видит экологическую проблему, и (в меньшей степени) со степенью научного понимания. Следствие этого: если мы можем сразу же стать свидетелями проблемы и узнать, как ее решать, ESEM реализуется. Наоборот, при более сложных, но менее видимых воздействиях, таких, как изменения климата, по-видимому, будет сложно вовлечь общественность в их рассмотрение.

ESEM поднимает фундаментальный вопрос: каков надлежащий уровень ESEM? По своей природе ESEM — это средство достижения цели, которая может быть определена только в этических терминах. Проще говоря, вопросы «с какой целью люди занимаются инжинирингом и следует ли людям заниматься инжинирингом планеты» — и моральные и технические вопросы. Они также не просто гипотетические: люди косвенно отвечают за эти вопросы каждый день путем активизации деятельности ESEM в разнообразных пространственных и временных масштабах.

ESEM будет подразумевать растущую релевантность, в то время как дискуссии перемещаются от цели улучшения окружающей среды к цели устойчивости. Последнее подразумевает некоторый род целей для взаимодействий технология — окружающая среда вместе с политическими программами, разработанными для достижения этих целей, мониторингом для оценки прогресса достижения этих целей и периодическим обзором для оценки того, необходимы ли коррективы в середине пути.

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

ТАБЛИЦА 25.1 Характеристики реализованных или предлагаемых проектов ESEM

Деятельность ESEM	Экологическая проблема	Потенциальная серьезность	Масштаб воздействия	Понимание проблемы	Масштаб деятельности	Понимание общественной остью	Состояние реализации
Восстановление «коричневых полей»	Токсичность для человека	Умеренная	20–100 м	Хорошее	20–100 м	Очень высокое	Реализуется широко
Очистка вод	Загрязняющие вещества в осадках	Низкая	100–1000 м	Хорошее	100–1000 м	Умеренное	Несколько проектов
Восстановление болот	Деградация экосистем	Высокая	100–10 000 км	Умеренное	100–10 000 км	Высокое	Несколько проектов
Секвестрация CO <sub>2</sub>	Глобальное потепление	Очень высокая	Глобальный	Умеренное	1–10 км	Никакого	Несколько проектов
Посадка деревьев	Глобальное потепление	Очень высокая	Глобальный	Умеренное	1–100 км	Никакого	Несколько проектов
Удобрение океанов	Глобальное потепление	Очень высокая	Глобальный	Умеренное	10–100 км	Никакого	Предварительные эксперименты
Стратосферный сульфат	Глобальное потепление	Очень высокая	Глобальный	Плохое	Глобальный	Никакого	Не реализуется
Зеркала в космосе	Глобальное потепление	Очень высокая	Глобальный	Плохое	Межпланетный	Никакого	Не реализуется

Вернуться в каталог учебников  
<http://учебники.информ2000.рф/учебники.shtml>



Это в сущности подход, который был использован для решения проблемы озоновой дыры. Если мы как общество серьезно относимся к проблемам устойчивого развития, нам потребуется, чтобы подходы ESEM охватывали социально-экономические и экологические цели, которые подразумеваются концепцией устойчивого развития.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Allenby, B.R., Earth systems engineering and management, *Technology and Society*, 19(4), 10–24, 2000/2001.  
Clark, W., Managing planet earth, *Scientific American*, 251 (3): 47–54, 1989.  
Diamond, J., 1997, *Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies* (New York: W. W. Norton & Company).  
Marsh, G., 1864. *Man and Nature* (Cambridge, MA: Cambridge Belknap Press).  
Schneider, S.H., Earth systems engineering and management. *Nature*, 409. 417–421, 2001.  
*Science*, 1997. Special report: Human-dominated ecosystems. 277: 485–525.  
Turner, B. L., W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Mathews, and W. B. Meyer. eds.,  
*The Earth as Transformed by Human Action*, Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1990.

## УПРАЖНЕНИЯ

- 25.1 К Области ESEM часто относят генную инженерию человека и природных видов. Создайте концептуальную схему, аналогичную изображенной на рис 25.4, для биотехнологий.
- 25.2 Укажите, каковы моральные или этические вопросы, лежащие в основе переговоров по глобальному изменению климата. Вы их считаете скрытыми или явными?
- 25.3 Укажите, каковы взаимоотношения промышленной экологии с ESEM и устойчивым развитием.

## Г Л А В А 26

# Будущее промышленной экологии

### 26.1 ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ НА ПУТИ ПЕРЕМЕН

С началом нового тысячелетия общество, окружающая среда и структуры управления — все проходит сквозь череду быстрых и переходных изменений. Несомненно, окружающая среда — это система, которая подвергается тяжелому стрессу. Экосистемы вызывают тревогу: биоразнообразие уменьшается и планетарные процессы, которые развивались в течение очень долгих периодов времени, демонстрируют признаки дисфункции. Эти изменения окажут существенное влияние на технологию и ее взаимодействие с природой и человеком. По-видимому, в период 2010—2050 гг. произойдут крайне быстрые социальные трансформации и возникнут по-новому драматические примеры деградации окружающей среды. Системы, управляемые человеком, будут вынуждены решительно отвечать на экологические вызовы.

Нельзя сказать, что мы не подозреваем об этих опасностях. Границы нашего мышления и анализа расширяются, и увеличиваются масштабы нашей временной и пространственной оценки. Среди подходов, относящихся к окружающей среде, следует рекомендовать:

- смотрящие не в прошлое, а в будущее;
- не фрагментированные, а системные;
- придающие значение не общим убыткам, а микротоксичности;
- сфокусированные не на улучшении окружающей среды, а на устойчивости.

Это новое видение должно играть свою роль в условиях драматического роста глобальной численности населения и равномоного доверия технологии. Демографический переход от общества с высоким уровнем рождаемости/высоким уровнем смертности к обществу с низким уровнем рождаемости/низким уровнем смертности в сущности будет завершен приблизительно к 2050 г.; глобальная численность населения тогда составит око-

ло 9 млрд, большинство будут жить в городах, возможно, в мегаполисах. По-видимому, у людей будут более высокие доходы, и они будут требовать все больше ресурсов (или услуг). Они захотят оградить себя от неожиданностей. Большую часть этой социальной эволюции очерчивают пять переходных периодов:

- глобальное на смену локальному;
- урбанистическое на смену сельскому;
- связанность на смену изолированности;
- лучшая технология вместо разнообразия технологий;
- акцент не на развитом, а на развивающемся мире.

Важные изменения возникают также на арене государственной и корпоративной политики. Хотя точное регулирование имело успех в минимизации некоторых тяжелых воздействий технологии на окружающую среду, становится ясно, что такие подходы помогут нам преодолеть лишь часть пути к более устойчивому миру. Более очевидны следующие политические трансформации:

- акцент на кооперации, а не на регулировании;
- постепенное включение экологических издержек в структуру цен;
- принятие ключевых решений в области технологии и окружающей среды корпорациями, а не правительствами;
- более важная роль неправительственных организаций, с большей ответственностью перед обществом за свою деятельность.

Многие из экологических, социальных и политических изменений имеют последствия, связанные с промышленной экологией, где мы ожидаем следующих их изменений:

- от фокусирования на продукте к фокусированию на системе;
- от интереса к промышленному предприятию к фокусированию на жизненном цикле и ориентации на услуге;
- от «позеленения» выпускаемых продуктов к разработке внутренне «зеленых» продуктов;
- от экологического мышления как второстепенного к экологическому мышлению как стратегическому.

В процессе этих изменений, многих — быстрых и непредсказуемых, промышленная экология становится областью, пытающейся достичь основных улучшений в системе технология—

окружающая среда, которая сама по себе находится в процессе быстрой эволюции. Многие из общих направлений, в которых разворачивается процесс, кажутся хорошо определенными, но можно ожидать, что в середине пути потребуются много корректировок.

## **26.2 ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ МАГАЗИН ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

Преобразование технологии для обеспечения значительно более устойчивого мира кажется наиболее сложным проектом. Тем не менее, как мы увидели в этой книге, для реализации такого проекта доступен ряд полезных инструментов, и они находятся в непрерывном развитии. Можно представить эти инструменты как содержимое полок хозяйственного магазина промышленной экологии, магазина с отделами, созданными для того, чтобы иметь особую привлекательность для проектировщиков продуктов и процессов, менеджеров, технологических аналитиков (системоаналитиков) и лиц, принимающих решения. Ряд этих инструментов примитивен; говорят, что мы часто применяем инструменты каменного века к проблемам века космического, в особенности в областях DfE. Один очевидный недостаток заключается в том, что многие из наших инструментов статичны, в то время как проблемы, которые они призваны решать, динамичны. Однако сейчас нам приходится с ними работать, и они доказали свою полезность. Ниже мы резюмируем запас на каждой полке с набором инструментов.

### **26.2.1 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА ПРОДУКТОВ И ПРОЦЕССОВ**

Проектировщики продуктов и процессов принимают маломасштабные решения, обладающие огромным мультипликативным потенциалом. Более экономичный проект двигателя оказывает колоссальное влияние, когда производятся сотни тысяч таких двигателей; то же происходит в случае экологически предпочтительных растворителей, когда производятся миллионы доз фармацевтических продуктов. Инструментарий, который помогает в

таком проектировании, более детально описан в главах 8—18; он включает в себя:

- список «ненарушений»;
- руководства по проектированию;
- оценку жизненного цикла;
- модифицированную оценку жизненного цикла.

### **26.2.2 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОГО МЕНЕДЖЕРА**

Корпоративный менеджер включает экологическую ответственность в корпоративную философию и практику. В этой роли экологическое мышление и действия становятся стратегическими частями корпоративных операций. Инструментарий, находящийся в распоряжении менеджера, включает методы, интегрированные с другими подходами корпоративной оценки и отличные от них:

- процесс реализации «зеленого» продукта, в котором экологические вопросы интегрируются в рамках существующих инструментов корпоративного менеджмента;
- стандарт ISO 14000, где определяются экологические цели корпорации и подходы к их реализации, которые затем оцениваются внешними аудиторами;
- система экологического менеджмента, в которых выполняются управленческие планы для всех аспектов экологических показателей деятельности корпорации;
- подход тройного итога, где оцениваются и измеряются экономические, экологические, социальные показатели.

### **26.2.3 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПОСТАВЩИКА УСЛУГ**

Важность сектора услуг в современном обществе бесспорна, важен и потенциал сектора в области экологически выгодных действий. Инструментарий промышленной экологии в этом секторе в некоторой степени пересекается с инструментарием проектировщика и корпоративного менеджера, но, несомненно, включает следующее:

- аудиты и соответствие регулированию, чтобы гарантировать базовый уровень экологических показателей;

- аудиты и использование ресурсов (энергии, воды, отходов) для определения возможности по сбережению средств и улучшению экологических показателей;
- «кометообразные» диаграммы для оценки альтернативных подходов к связанному с окружающей средой использованию оборудования;
- «диаграммы перевернутой рыбной кости» для оптимизации повторного использования пришедшего в негодность оборудования, его деталей и их материалов.

#### 26.2.4 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИТИКА

Технологические аналитики оценивают взаимодействие промышленность — окружающая среда в мезо- и макромасштабах. Их цель — понять взаимодействия на этом уровне систем, охватывающих воздействия целого спектра промышленных секторов, продуктов и выбросов, а также стимулов и ограничений, возникающих в результате сложившихся закономерностей в пространстве, во времени или состоянии экономического развития. Среди инструментов, доступных системному аналитику промышленной экологии, имеются:

- анализ сетей питания;
- оценка потоков ресурсов (анализ материальных потоков, анализ потоков веществ, анализ потоков элементов);
- анализ промышленного симбиоза;
- модели и сценарии.

#### 26.2.5 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ЛИЦА, ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ

Лица, принимающие решения, смотрят на промышленную экологию с точки зрения социальных и культурных систем, облегченных технологией. Их инструменты включают в себя:

- главные цели;
- инжиниринг и менеджмент геосистем;
- количественные оценки устойчивости.

## **26.3 ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ КАК РАЗВИВАЮЩАЯСЯ НАУКА**

Промышленная экология — это наука, хотя и очень молодая. В каком направлении должны действовать промышленные экологи? Один аспект — проблема масштаба, пространственного и временного. В большинстве научных областей есть специалисты, работающие в очень мелком и в очень большом масштабе, как показано на рис. 26.1. Промышленная экология также содержит компоненты, которые работают в очень разных масштабах. Место этих специалистов в пространстве и времени промышленной экологии отражает не только их предпочтения, но также состояние зрелости данной области.

В самом мелком масштабе осуществляется деятельность по предотвращению загрязнений (рис. 26.2), например, попытки производителей сократить использование воды. Эти виды деятельности были очень результативными, но достижения в конечном счете ограничены количеством этих «низко висящих фруктов», которые можно собрать, и деятельностью по предотвращению загрязнения текущими процессами и ранними этапами жизненного цикла.

Следующий по величине режим промышленной экологии можно назвать технологической фазой. Данная область присутствует в основном в этой фазе и концентрируется на разработке новых подходов к проектированию и внедрению новых продуктов и процессов.

Более стратегически мыслящие организации, корпорации и правительства начинают двигаться в переходную фазу, где «плод более сочен, но его труднее достать», поскольку он включает рассмотрение систем и взаимодействий. Заключительный этап, направленный далеко в будущее, — это метадисциплинарная фаза, в которой промышленная экология объединит силы с социальными и политическими науками для оптимизации взаимодействий технологии и общества. Интеграция знаний схематически изображена на рис. 26.3.

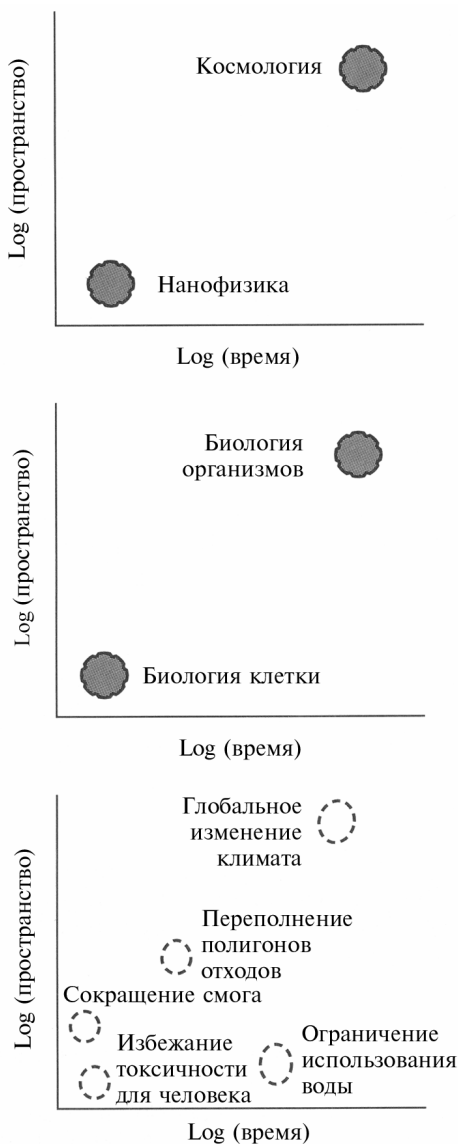


Рис. 26.1

Пространственно-временной локус специалистов в области физики, биологии и промышленной экологии



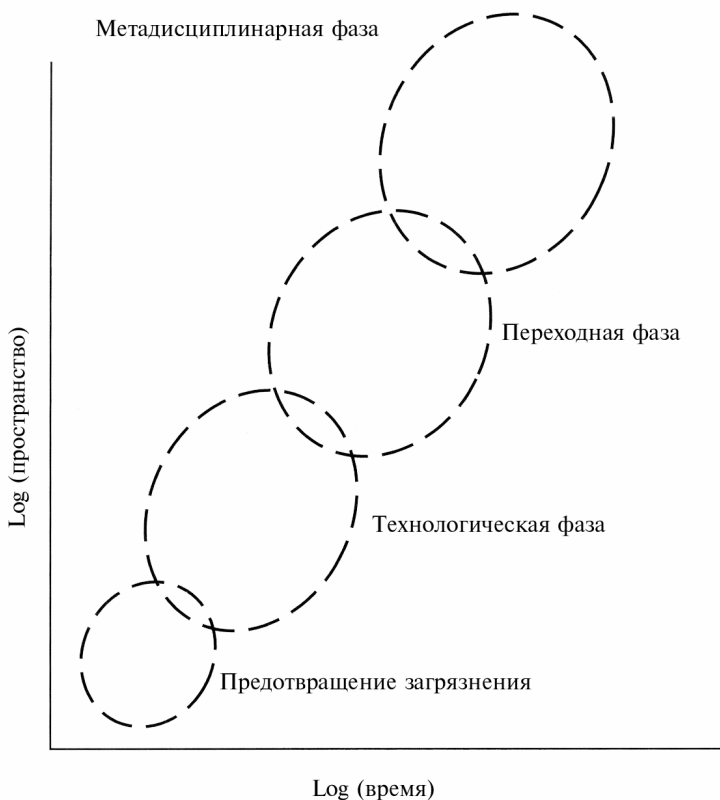


Рис. 26.2

Графическое представление пространства—времени промышленной экологии предлагает позиционное отношение различных системных подходов. Вопросы, которые решаются в метадисциплинарном подходе, крупнее в пространстве и времени, чем те, которые решаются в рамках предотвращения загрязнения

При дальнейшем продвижении появляется проблема рационального понимания концепции устойчивости. Джон Эренфельд (John Ehrenfield) из Massachusetts Institute of Technology (MIT) говорит:

«Устойчивость — это возможный способ жить или существовать, в котором индивидуумы, фирмы, правительства и другие институты действуют ответственно, заботясь о будущем, как если бы оно принадлежало им сегодня, равномерно распределяя

экологические ресурсы, от которых зависит выживание всего живого, и гарантируя, что все, кто живут сегодня и будут жить в будущем, смогут удовлетворить свои потребности и надежды».

Устойчивость, включая устойчивое развитие, *не* означает, что мы должны делать немного лучше ту работу, которую мы делаем сейчас. Скорее, как говорит Уильям Мак-Донноу (William MacDonough), она имеет отношение к «изменению сюжета», *изменению взаимоотношений* между технологией и окружающей средой. Естественно, путь к оптимальному изменению не вполне ясен. Тем не менее мы, возможно, можем определить путь, ведущий в направлении экологического превосходства, и убедиться в том, что коррективы на середине пути приведут к устойчивости.

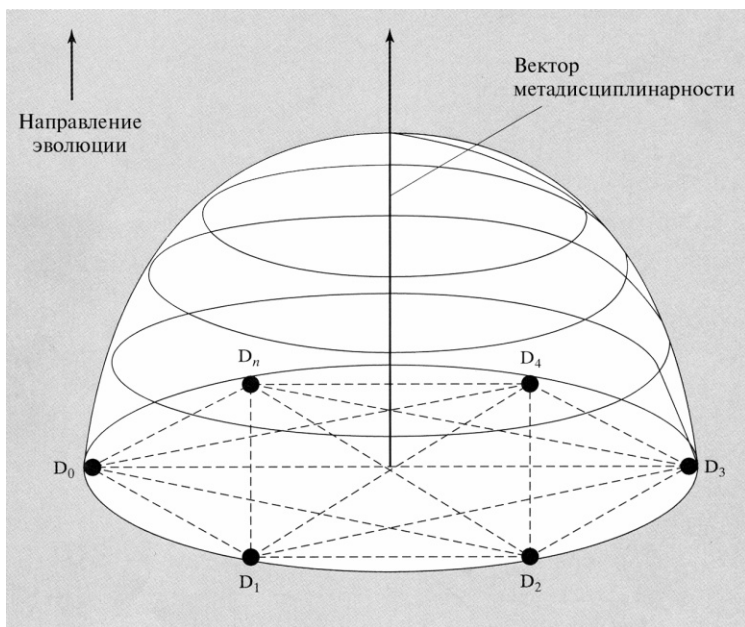


Рис. 26.3

Схема метадисциплинарного подхода, в котором знание из научной, технологической, социальной и экономической областей синтезируется с фокусом на глобальной устойчивости и на человеке. Положения  $D$  — интеллектуальные дисциплины; пунктирные линии между ними — взаимодействия между базами знаний двух дисциплин. При движении вверх по вектору метадисциплинарности сокращение периферии полезного знания предполагает улучшенную интеграцию информации (Основано на диаграмме Н. Koizumi, Hitachi Corporation.)

Невзирая на то, какова фаза ее эволюции как научной области, промышленная экология должна работать для получения высокого уровня интеллектуальной точности. Примерно в первое десятилетие своего развития промышленная экология обращалась к важным, но относительно простым и очевидным проблемам, в основном кратковременным и в малом пространственном масштабе. Это продвижение вперед потребовало внимательного отношения инженеров, но было ограничено объемами инноваций, получением детализированных данных или глубоким анализом. Слишком часто мы пытались упростить нашу область для собственного удобства или удобства других, например: «сократить рассеяние до нуля» или «ничего не добывать». Это не представляет ни интеллектуальной строгости, ни анализа сложных систем. Если мы рассеиваем ресурс со скоростью, ассимилируемой экосистемой, и затраты энергии для восстановления ресурса высоки, мы могли бы попытаться сохранить энергию и принять рассеивание ресурса. У нас, однако, нет удовлетворительных инструментов анализа альтернатив.

Наука и технология достигают наивысшего уровня, когда научный метод используется полностью: задать интересный и уместный вопрос, провести эксперимент или анализ для рассмотрения проблемы, получить необходимые высококачественные данные, проанализировать данные с точки зрения заданного вопроса и ответить или поставить вопрос иначе. Интеллектуальная строгость в научных, инженерных, экономических и политических исследованиях принимает различные формы, но, если промышленная экология становится строгой, доверие к ней и ее влияние будут заметно возрастать. Мы не можем согласиться на меньшее.

## 26.4 ДОРОЖНАЯ КАРТА ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Обычно считается, что деятельность по исследованиям и разработкам включает три этапа.

1. *Базовые исследования*: изучение фундаментальных аспектов проблем и наблюдаемых фактов без учета конкретных приложений.

2. *Прикладные исследования*: развитие знаний или понимания, необходимых для определения средств, которыми может быть удовлетворена осознаваемая потребность.

3. *Разработки*: систематическое использование знаний и понимания, приобретенных в исследованиях.

В интеллектуальном плане эти этапы могут восприниматься как последовательные. На практике они часто появляются в более или менее обратном порядке, по крайней мере на ранних этапах развития. Промышленная экология вполне определенно по-прежнему находится в этой ранней фазе развития.

Каковы тогда границы исследования промышленной экологии? Или, как спрашивает Валери Томас (Valerie Thomas) из Princeton University, если в течение нескольких следующих лет мы будем иметь успех в области промышленной экологии, что нам удастся сделать? Каждая область науки и технологии имеет несколько основных вопросов исследования, и в базовых науках они могут быть сформулированы точно. В областях, в которых могут быть определены закрытые системы, ученые — молекулярные биологи или физики-ядерщики, задают вопросы: как делятся клетки? какой может быть структура атома? В науках, связанных с открытыми системами, например в биологии, ключевые вопросы более сложны и имеют тенденцию рассматривать взаимодействия, а не основные свойства:

- почему экосистемы такие, какие они есть?
- как функционирует экосистема?
- что определяет популяции видов?
- почему существует так много видов?

В областях, связанных с открытыми системами, можно также задавать вопросы, относящиеся к внешним неконтролируемым условиям систем. Скажем, в биоэкологии может возникнуть интерес к воздействию внешних сил (например климата) на экосистемы или к взаимодействиям био- и геохимических циклов и связанных с ними систем на всех уровнях (изменение среды обитания и т.д.). Опираясь на эти вопросы, мы можем попытаться определить аналогичные ключевые вопросы для промышленной экологии.

- Каковы типы антропогенного использования ресурсов?
- Каковы взаимодействия между технологией и окружающей средой?

- Каковы тенденции антропогенного использования ресурсов?
- Каковы тенденции связанных с технологиями воздействий на окружающую среду?
- Как функционируют связанные с ресурсами аспекты антропогенных культурных систем?
- Каково операционное и количественное определение устойчивости?
- Какие сценарии описывают возможное будущее взаимоотношений технологии и окружающей среды?

Эти ключевые вопросы предлагают ряд целей исследования промышленной экологии, которые мы можем разделить на три категории: (1) теоретические, (2) экспериментальные, (3) прикладные.

#### 26.4.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

- *Разработать теории промышленных экосистем.* Можем ли мы создать ясную теорию технологических изменений? В то время как промышленные системы развиваются и изменяются на протяжении нескольких следующих десятилетий, можем ли мы прогнозировать типы и масштабы будущих экологических взаимодействий? Различаются ли эволюционные закономерности взаимодействия технологии и окружающей среды в разных секторах промышленности? В пространстве? Для разных типов затрачиваемых материалов? Для различных культур и обществ?

- *Разработать многоуровневый энергетический бюджет технологии.* Технология включает преобразование материалов, и эти преобразования осуществляются с использованием энергии. Существующие энергетические бюджеты обычно строятся в национальном или глобальном масштабе, но меньшие масштабы вполне могли бы выявить системные закономерности, позволяющие оптимизировать взаимодействия энергия — технология. Для получения обобщенных выводов потребуется множество исследований различных масштабов и степени детализации.

- *Смоделировать взаимодействия между антропогенными и природными системами.* Антропогенные и природные системы, традиционно изучавшиеся как отдельные, очевидно, находятся в сильном взаимодействии. Необходимо достаточно полно иссле-

довать и понять эти взаимодействия для моделирования воздействий, замены преобразованных природных систем антропогенными и преобразованных антропогенных систем природными.

- *Разработать теории количественной устойчивости.* Если устойчивость должна быть более чем просто концепцией, она должна быть переведена в количественную форму, распределяя количество ресурсов и допустимые воздействия на окружающую среду среди индивидуумов и корпораций. Определение допустимых темпов использования и потерь и достижение согласия по поводу распределения будут сложными, зависящими от определенной формы устойчивости, которую изберет человеческая популяция. Без этих шагов, однако, невозможно решить проблему достижения устойчивого мира.

#### 26.4.2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

- *Разработать бюджеты для материалов технологии.* В последние годы ученые создали циклы «главных питательных веществ» («*grand nutrients*»): углерода, азота, серы и фосфора. Результаты обеспечили научное понимание и основу политических инициатив. Точно так же будет представлять ценность создание циклов для материалов современной технологии: металлов, пластиков, возобновляемых и т.д. Результаты позволят представить темпы использования ресурсов и их потерь в окружающей среде и принять политические решения, связанные с материальными циклами.

- *Проанализировать проектирование и разработку экоиндустриальных парков.* Вероятно, повторное использование потоков промышленных отходов может быть усилено с помощью тщательно спланированных экоиндустриальных парков, но у нас пока мало данных для проверки этого предположения. Входящие, исходящие потенциальные потоки, пространственная и временная эволюция существующих экоиндустриальных парков всех типов должны быть собраны, сгруппированы, детально проанализированы и интегрированы в процесс муниципального планирования и развития.

- *Собрать и проанализировать данные по промышленным сетям питания.* Биоэкологи используют анализ пищевых сетей

для понимания связей и возникающего перераспределения ресурсов между видами. Возможно, аналогично промышленные виды распределяют металлы, бумагу и другие ресурсы в системах, где связи могли бы быть выявлены в результате обширного анализа промышленных пищевых сетей.

- *Анализировать метаболизм городов.* Известно, что города являются сильными поглотителями ресурсов и слабыми их рассеивателями. Однако, если мы рассматриваем города как организмы, у нас мало количественной информации по их метаболизму. Необходимы исследования по определению метаболических различий между городами в различных частях мира, различных масштабов и на различных этапах эволюции. Результаты помогут нам лучше понять взаимоотношения между городами, ресурсами и окружающей средой.

### 26.4.3 ПРИКЛАДНЫЕ ЦЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

- *Продолжить разработку проектирования и производства с учетом требований окружающей среды.* Как и инженерное проектирование, DfE и MfE всегда будут представлять собой незаконченную работу. Новые материалы, новые аналитические мощности и новые концепции продуктов потребуют соответствующей реакции со стороны DfE и MfE. Использование этих инструментов должно стать второй природой проектировщика, и эти методы должны быть полностью интегрированными в системы проектирования.

- *Связать промышленную экологию и использование земель.* Взаимодействия технологии и окружающей среды в конечном счете привязаны к конкретному месту, и влияние промышленных процессов на использование и здоровье земли требует большего внимания. Не было проведено детального исследования этой темы, но она заслуживает изучения, поскольку в ее центре будущее планеты.

- *Разработать инструменты политики для стимулирования промышленной экологии.* Деятельность в области промышленной экологии иногда становится тщетной политикой правительства, как, например, сложность повторного использования материалов, маркированных как опасные отходы. С другой стороны,

политика правительства, например, покупка экономичного оборудования, может поощрить практику промышленной экологии. Следует разрабатывать и внедрять новые инструменты политики для более полного стимулирования промышленной экологии.

- *Распространение промышленной экологии в развивающихся странах.* По мере роста численности населения и богатства в развивающихся странах, туда будут перемещаться экологические возможности и проблемы, связанные с промышленной экологией. Важно разработать методологию образования и программы помощи неимущим или нуждающимся для обеспечения этих развивающихся географических регионов инструментами промышленной экологии, которые им понадобятся.

## 26.5 ПЕРЕОПРЕДЕЛЯЯ ПРОБЛЕМУ

Эдвард О. Уилсон (Edward O. Wilson) из Harvard University говорит, что мы живем в век «Окружающей Среды» и предлагает следующий прогноз: «Мы входим в столетие окружающей среды, когда наука и политика придадут наивысший приоритет «остепенению» человечества до того, как мы уничтожим планету». Его взгляд не очень ободряет. Как промышленные экологи, однако, мы, возможно, можем позволить себе быть осторожно оптимистичными. Многие корпорации внедряют промышленную экологию, везде говорят серьезно о глобальном потеплении, почти все понимают, что мы ведем неустойчивый образ жизни. Таким образом, первоначальное понимание устойчивости начинает развиваться, инструментарий становится лучше и лучше и понимание проблемы окружающей среды включается в образовательную деятельность на всех уровнях. Промышленная экология превращается в дисциплину, которой можно дать новое, улучшенное определение:

промышленная экология — это наука крупномасштабного планетарного управления, включающая практику интеллектуального рассмотрения планеты в процессе ее изменения, обусловленного природными и антропогенными факторами.



Если бы мы могли активно реализовать это представление, мы могли бы изменить историю. Такая реализация, естественно, задача непростая. Она потребует усилий всех тех, кто прочитал эту книгу, и многих других. Работа велика, но становится все более возможной. Удачи всем нам!

### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЧТЕНИЕ

Ostrom, E., J. Burger, C.B. Field, R.B. Norgaard, and D. Policansky, Revisiting the commons: Local lessons, global challenges, *Science*, 284, 278—282, 1999.

Rejeski, D., Metrics, systems, and technological choices, in *The Industrial Green Game*. D.J. Richards, ed., Washington, DC: National Academy Press, 48—72, 1997.

Vandenburg, W.H., *The Labyrinth of Technology*, Toronto: University of Toronto Press, 2000.

Wallner, H.P., M. Narodoslawsky, and F. Moser, Islands of sustainability: A bottom-up approach towards sustainable development, *Environment and Planning A*, 28,1763—1778, 1996.

Wilson, E.O., Integrated science and the coming century of the environment, *Science*, 279, 27 March 1998.

## П Р И Л О Ж Е Н И Е А

# Альтернативы электронному припою: детальное изучение

### А.1 ВВЕДЕНИЕ

Альтернативой подходу матрицы SLCA  $5 \times 5$ , описанной в гл. 17, служит использование матриц множественной оценки. Цель — охватить полный спектр потенциальных характеристик: производственных, социальных и политических, токсичности воздействия и экологических. Таким образом, мы рассматриваем все аспекты принятия бизнес-решений, сохраняя относительную эффективность подхода модифицированной оценки.

Сравнительный анализ DfE может быть достаточно сложным; полезно привести пример для иллюстрации некоторых относящихся к рассматриваемой теме вопросов. Мы выбираем пример, важный для современной промышленности: следует ли крепить электронные детали к печатным платам токсичным свинцовым припоем? (Это исследование дополняет упомянутое в гл. 10, где рассматривался 5-компонентный припой, но то исследование было сфокусировано исключительно на устойчивом предложении сырья или припоя.) В нашем примере используются этапы, упомянутые в гл. 15 и 16: (1) обзор вариантов и определение глубины анализа; (2) сбор соответствующих данных в группе матриц DfE; (3) смещение результатов в направлении проектирования. Поскольку упражнение должно проиллюстрировать метод, а не сделать читателя экспертом в области припоя, многие из деталей анализа опущены.

### А.2 DfE-АНАЛИЗ СВИНЦОВОГО ПРИПОЯ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

В электронной промышленности свинцовый припой в основном используется при монтаже печатных плат, составляющих основу любого электронного устройства. Для промышленности это использование свинцового припоя представляет проблему по двум причинам. Во-первых, свинец — это бесспорно, токсичный тяжелый металл, поэтому любое потребление, которое может привести к его воздействию на человека, поднимает проблемы здоровья и безопасности. Во-вторых, рас-

пространяется государственное регулирование использования свинца, а в некоторых странах оно было ограничено законодательно. Тем не менее относительное количество свинца, используемого таким образом, достаточно невелико (менее 1% общего потребления, см. рис. 23.3).

Индий и висмут, два металла, часто предлагаемые в качестве субститутов свинца в припое, используются мало; вследствие этого полная замена свинцового припоя сплавом индия и олова в США, например, привела бы к скачку спроса на индий приблизительно с 28 до около 11 000 т; сравнимые значения для свинца — 1400 т текущего потребления и приблизительно 12 000 т при его замене. Третья альтернатива — использование серебра как металлического наполнителя для проводящих эпоксидных смол — занимает промежуточное положение в сравнительном использовании ресурсов в зависимости от выбранных технологий.

Индий и висмут встречаются в рудах в крайне низких концентрациях и производятся, почти исключительно, как побочные продукты добычи других металлов: индий при добыче цинка, а висмут — свинца. Серебро снова занимает промежуточную позицию, некоторые залежи свинца относительно богаты, но приблизительно две трети серебра производится как побочный продукт добычи других руд.

### **A.2.1 ФУНКЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСШТАБА**

Поскольку технологии и методы электронной промышленности развивались одновременно со свинцовым припоем, любое значительное изменение, приводящее к использованию альтернативного материала, в особенности материала с существенно отличающейся рабочей температурой, могло бы потребовать значительной реорганизации существующих процессов и значительных капиталовложений в новое оборудование. Также вероятным последствием была бы модификация существующих продуктов и деталей. Неудачный переход на альтернативную технологию мог бы привести к существенным штрафам и деградации качества. Поэтому анализ потенциальных альтернатив от рождения до возрождения, очевидно, оправдан.

Как правило, число вариантов, выбранных для сравнительного анализа, должно быть ограничено. Это ограничение, очевидно, важно, если предполагается, что анализ будет осуществлен. В нашем примере есть масса потенциальных субститутов оловянно-свинцового припоя, но многие из них можно сразу же отвергнуть, поскольку они содержат свинец или кадмий. Из тех, что используются в том же температурном диапазоне, что и свинцовый припой, доминируют сплавы, основанные на индии и висмуте. Полимерные матрицы, содержащие металл, также потенциально привлекательны. Поэтому для анализа выбран характерный сплав олово—индий, олово—висмут и альтернативный, состоящий из эпоксидной матрицы, не являющейся сплавом, наполненной проводящими капельками серебра.

## 494

### А.2.2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МАТРИЦЫ

Первая из матриц оценки — производственная. С точки зрения производства существуют потенциальные проблемы замены свинца, вызванные дефицитом и статусом побочного продукта индия и висмута и, в меньшей степени, — серебра. Эти проблемы отражены в издержках и категориях доступности и, для индия и висмута, категории энергопотребления (эти металлы встречаются в таких низких концентрациях, что необходимы значительные затраты энергии для их добычи и очистки). Для каждой альтернативы была проведена матричная оценка; производственная матрица для индия представлена на рис. А.1.

Среди вопросов, поднятых в ходе анализа производственной матрицы, рассматривалось чрезмерное потребление ресурсов индия, висмута и, в меньшей степени, серебра. Эти относительно дефицитные металлы добываются из руд, из которых их можно добыть, и внедряются в продукты, откуда их добыть уже будет нельзя. Текущая структура цен не отражает этих потенциальных издержек для будущих поколений и, разумеется, не может отражать, учитывая внутреннюю неопределенность будущей стоимости существующих материалов, которая в свою очередь зависит от будущего развития технологий.

### А.2.3 СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ

Социально-политическая матрица для индия изображена на рис. А.2, Оценить эту матрицу сложнее всего из-за недостаточности данных и несовершенства методологии. Негласно, но как правило, предполагают, что структура цен различных вариантов учитывает эти эффекты: обычно это не так. В особенности, когда операции включают развивающиеся страны, где большинство социальных издержек просто остаются экстерналиями. Возьмем, например, рост добычи и обработки руды, вызванный значительными масштабами замещения свинцового припоя индием, висмутом или серебром (эпоксидной смолой). В этом случае не только значительно возрастут воздействия на окружающую среду (отраженные в экологических матрицах), но может быть серьезным воздействие этой деятельности на местные сообщества. Добыча ресурсов, по определению, истощает природный капитал региона. Операции по добыче также создают временную потребность в трудовых ресурсах, приводящую к возникновению временных сообществ. Это негативно воздействует не только на сообщества, из которых будут поступать трудовые ресурсы, но и на само сообщество, занимающееся добычей ресурсов, которые будут со временем покинуты. Такие эффекты более вероятно будут связаны с металлами — побочными продуктами, чем со свинцом, поскольку доля свинца, используемого при монтаже печатных плат, очень мала в общем существующем спросе на свинец.

Дополнительная проблема возникает там, где альтернатива предполагает значительный рост спроса, что наблюдается здесь с индием, висмутом и в некоторой степени с серебром. Реструктуризация спроса увеличит цены и сократит доступность материалов для альтернативного использования. Висмут интенсивно используется в фармацевтической промышленности как заменитель более токсичного свинца в ряде металлургических приложений и в системах противопожарного контроля. Индий используется, помимо прочего, в инфракрасном отражающем покрытии стекол, в обогревателях стекол самолетов, как покрытие поверхностей подшипников в двигателях и в солнечных батареях нового поколения. Часть проблемы отражена в категории значительных внешних эффектов, но методологии оценки таких внешних эффектов социального благосостояния не существует и их будет сложно разработать, поскольку для этого требуются этические и ценностные суждения.

#### **A.2.4 МАТРИЦА ТОКСИЧНОСТИ**

Матрица токсичности индия показана на рис. A.3. Этот фрагмент анализа охватывает темы, которые традиционно были частью практики охраны окружающей среды, здоровья и безопасности в государственной и негосударственной промышленности. Поэтому они относительно хорошо понятны. Единственная предосторожность, которую необходимо принять — не дать доступным данным исказить анализ. Это сложно, потому что даже для вещества, используемого так долго и так широко, как свинец, будет доступно гораздо больше данных по токсикологии млекопитающих, чем по токсикологии немлекопитающих. Для менее изученных металлов индия и висмута токсикология немлекопитающих в сущности неизвестна и, разумеется, необходимо делать прогнозы, основанные на небольшом количестве данных.

В том же смысле надежное прогнозирование воздействий может быть сложной задачей, в особенности там, где воздействие сильно бы изменилось в результате реализации какой-либо альтернативы. В рамках данного оценивания мы понимаем, что в настоящий момент не существует операций по рециклированию индия и висмута, поэтому сложно оценить, к каким воздействиям привело бы значительное замещение этими материалами свинца в припое, если бы оно было осуществлено и были бы разработаны операции по рециклированию. Прогнозы, основанные на текущих операциях по рециклированию, разумеется, могут делаться, но их нужно рассматривать в лучшем случае как аппроксимацию.

Следует подчеркнуть, что даже в той области, которой уделялось существенное внимание до сегодняшнего дня, системный подход выявляет значительные недостатки данных и методологии. Тем не менее качественные оценки оказываются как возможными, так и имеющими право на существование.

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

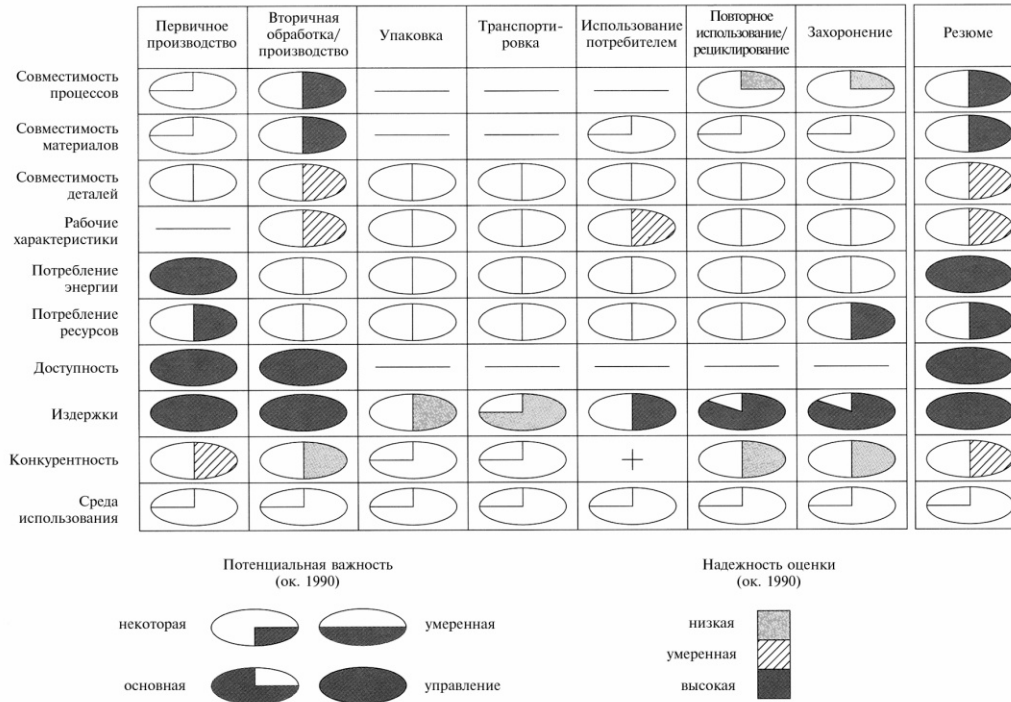


Рис. А.1  
 Матрица производства индия для сборки печатных плат

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

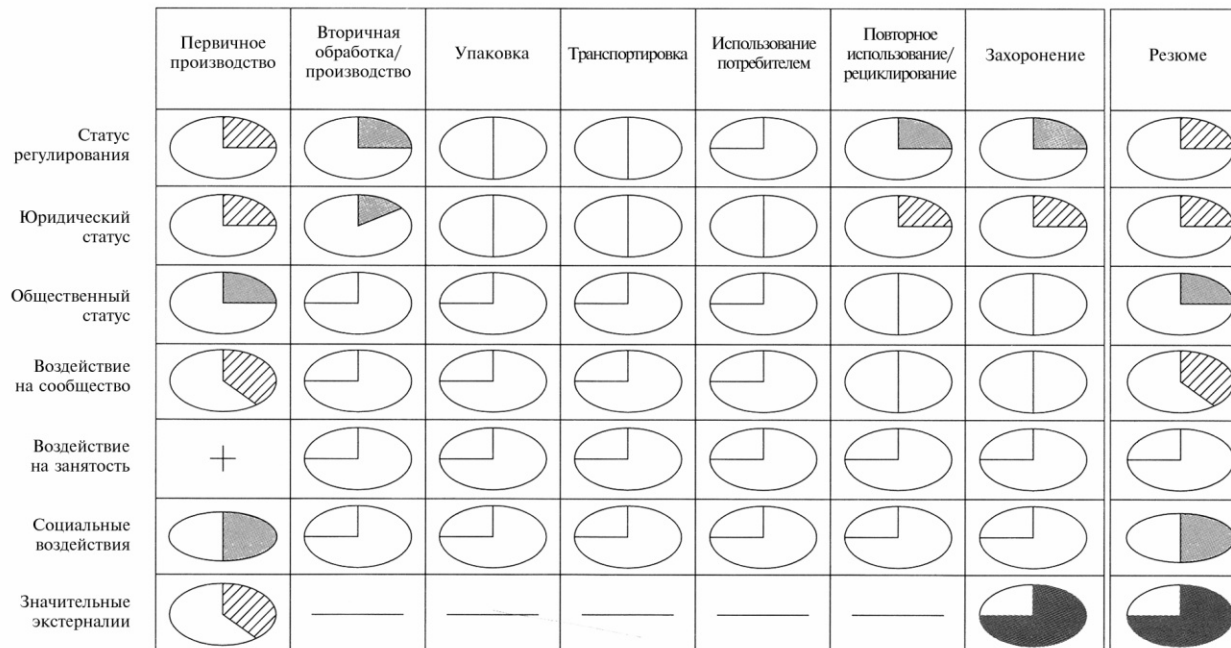


Рис. А.2

Социально-политическая матрица производства индия для сборки печатных плат (обозначения те же, что на рис. А.1)

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

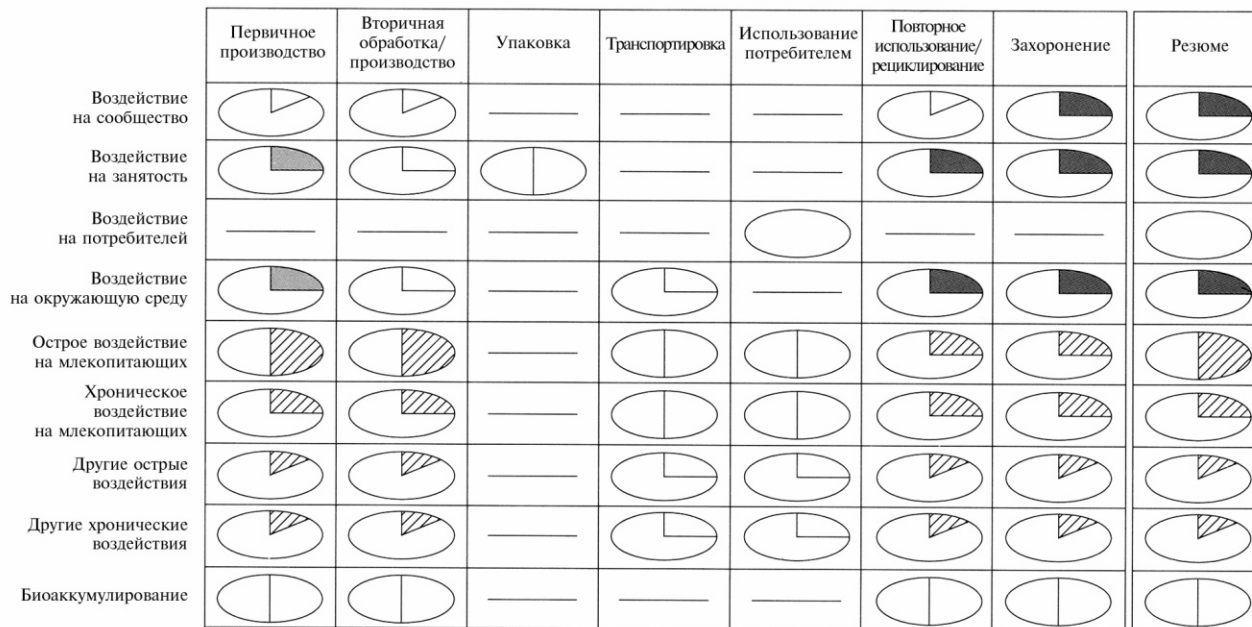


Рис. А.3

Матрица токсичности индия для сборки печатных плат (обозначения те же, что на рис. А.1)



## A.2.5 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ

Экологическая матрица для индия представлена на рис. А.4. Наиболее заметно то, что почти все серьезные воздействия возникают на этапах жизненного цикла, которые не находятся под контролем фирмы, использующей свинцовый припой для производства печатных плат: первоначальный, производственный этап жизненного цикла контролируется добывающей/обрабатывающей фирмой, а на стадии повторного использования /рециклирования продукт поступает после использования потребителем. Поэтому если бы фирма должна была оценить только воздействие своих операций на окружающую среду при выборе среди альтернатив, она игнорировала бы практически все главные воздействия на окружающую среду, связанные с ее выбором. Таким образом, этими матрицами явно демонстрируется необходимость анализа жизненного цикла на базе системного подхода.

На втором этапе жизненного цикла — обработки/производства — возникают несколько дополнительных проблем. Во-первых, замена любой существующей технологии до того, как закончился срок ее полезного использования, в некотором смысле безвозвратно расходует существующий запас капитала. При прочих равных условиях это нежелательно, поскольку овеществленная энергия и ресурсы в этом запасе, таким образом, не используются так, как могли бы использоваться в противном случае. Эти потенциальные потери в особенности вероятны для технологии использования проводящей эпоксидной смолы, которая сделала бы бесполезным существующее оборудование для пайки.

## A.2.6 РЕЗЮМЕ

Здесь были представлены четыре матрицы как аспекты одного и того же этапа анализа. Действительно, с их помощью качественно осуществляются два этапа оценки жизненного цикла. Первый этап, инвентаризационный анализ, эффективно описывается производственной матрицей. Другие три матрицы имеют дело не с выбросами, потреблением или другими инвентаризационными параметрами, но с воздействиями этих видов деятельности; они образуют второй этап качественной оценки воздействия LCA. Поэтому, хотя анализ не включает такого уровня вычислительных деталей, как, например, шведский метод EPS, он идет гораздо дальше одноэтапных подходов к анализу жизненного цикла.

Результаты детализированного анализа могут быть представлены в итоговой матрице (рис. А.5), которая строится по наиболее серьезным уровням рассмотрения, полученным для альтернатив висмута, индия, свинца и эпоксидной смолы в каждой детализированной матрице. Однако для матрицы токсичности ранжирование токсичности для каждого вещества комбинируется в одно ранжирование в итоговой матрице.

Узнайте стоимость написания студенческой работы на заказ  
<http://учебники.информ2000.рф/napisat-diplom.shtml>

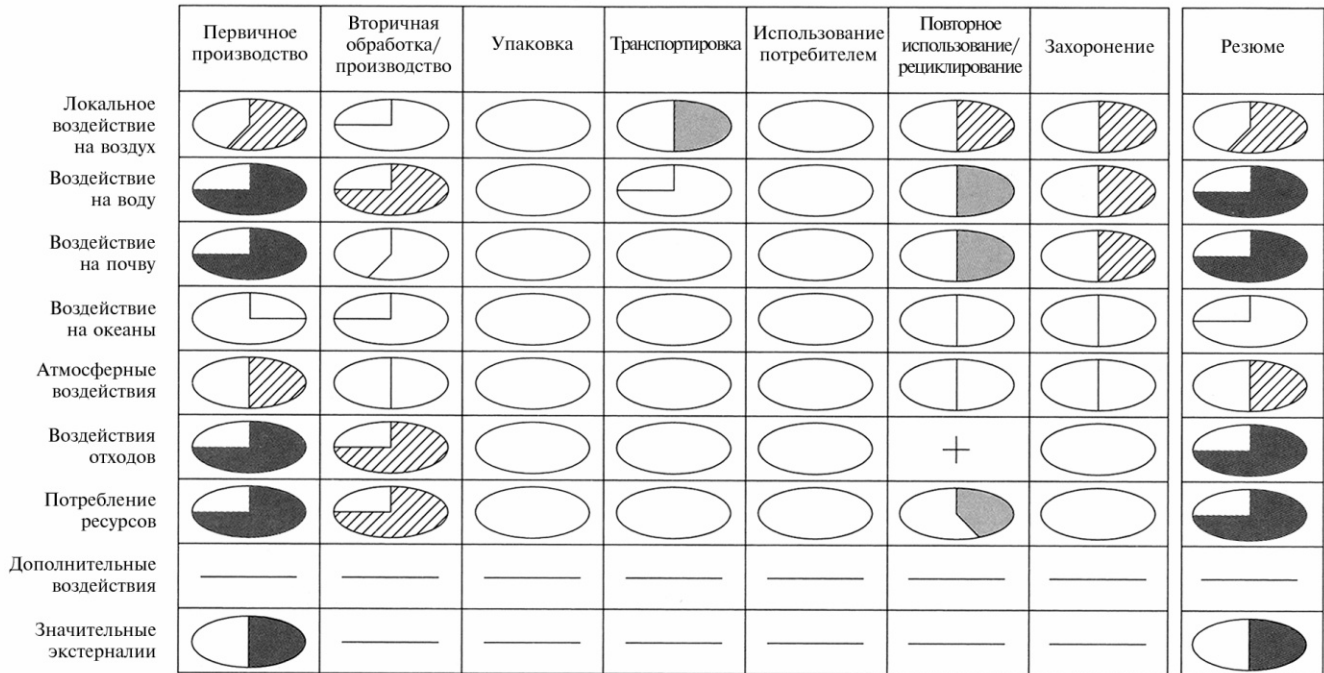


Рис. А. 4

Матрица токсичности индия для сборки печатных плат (обозначения те же, что на рис. А.1)

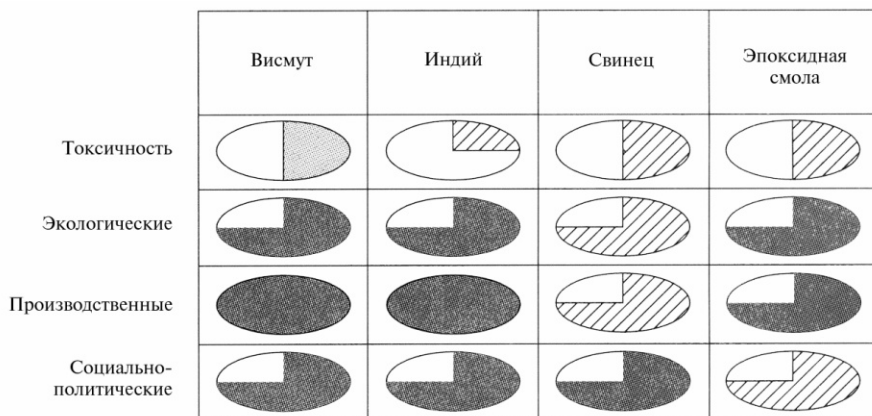


Рис. А.5

Итоговая матрица для сборки печатных плат (обозначения те же, что на рис. А.1)

Это ранжирование отражает общий риск ущерба, связанный с альтернативой, и здесь уместно некоторое дополнительное пояснение.

Для висмута ранжирование отражает низкий уровень значимости, поскольку потенциал воздействия ограничен и существующие данные по токсичности висмута не поднимают серьезных вопросов. Индий получает средний уровень ранжирования по значимости общего риска, основанный на умеренном уровне токсичности, но ограниченных воздействиях на протяжении жизненного цикла. Свинец явно и сильно токсичен, в особенности при воздействии на млекопитающих. Однако степень воздействия, связанная с этим особенным использованием свинца, так низка, что неправомерно ранжировать этот риск как серьезный. Наконец, некоторые из органических составляющих эпоксидной смолы вызывают значительный риск токсичности, а компоненты при растворении в воде серебра демонстрируют значительную токсичность для некоторых организмов. Кроме того, существует вероятность, что некоторые воздействия первичных составляющих эпоксидной смолы могут возникнуть на этапах жизненного цикла первичного производства и вторичной обработки/изготовления. Поэтому уместно умеренное ранжирование риска эпоксидной смолы с серебряным наполнителем.

Результаты оценки воздействия можно выразить просто: свинцовый припой предпочтительнее замены сплавами, содержащими значительные объемы висмута и индия, или эпоксидными смолами с большим содержанием серебра. Когда относительно небольшая доля общего

## 502

спроса на свинец, связанного с его приложением к монтажу печатных плат, противопоставляется значительным масштабам его добычи и обработки, которые будут подразумевать другие альтернативы его использования, это экологически наименее вредный выбор. Таким образом, системный анализ привел к парадоксальному результату.

### А.3 ОТ ОЦЕНКИ К ПЛАНАМ

Третий этап LCA, анализ улучшения, напрямую следует из итоговой матрицы. Очевидно, уместно сократить использование свинца при монтаже печатных плат там, где это возможно. Во-первых, имеет смысл исследовать ниши альтернативных применений, в которых индий, висмут и проводящие эпоксидные смолы используются в малых объемах. Во-вторых, рекомендуется исследовать новые методы крепления и новые конструкции электронных печатных плат, требующие меньше соединений.

Анализ также выявил важные области будущих исследований, включающие возможность приложений сплавов индия и висмута, разработки эпоксидной смолы и систем полимеров, содержащих минимальные объемы проводящего металла. Эти исследования и разработки будут направляться анализом: большинство ресурсов потекло бы в направлении в целом более экологически предпочтительных альтернатив, представляющих полимерные системы с малым содержанием металлов; относительно меньше их будет потрачено на оценку альтернатив индия и висмута.

Существуют две другие грани этого анализа. Во-первых, воздействия на окружающую среду, приводящие к аналитическим выводам, возникают на этапах жизненного цикла, которые традиционный экологический анализ, проводимый производителем и сфокусированный на его операциях и его покупателях, упустил бы. Во-вторых, это упражнение поднимает ценностные и этические вопросы, которые пока всесторонне не рассматривались; такие ценностные вопросы требуют культурных и социальных откликов, а не откликов со стороны частных фирм, реагирующих на краткосрочные мотивы прибыли. С помощью анализа DfE можно выявить, но не решить эти проблемы.

## П Р И Л О Ж Е Н И Е В

# Единицы измерения в промышленной экологии

Основной единицей измерения энергии является джоуль ( $1 \cdot 10^7$  эрг). Часто можно встретить использование британской единицы тепла (British thermal Unit, Btu), которая равна  $1,55 \cdot 10^3$  Дж. Для очень большого энергопотребления распространена единица, называемая quad; это сокращение «квадриллион Британских единиц тепла». Таким образом,  $1 \text{ quad} = 1 \cdot 10^{15} \text{ Btu} = 1,55 \cdot 10^{18} \text{ Дж}$ .

Единицы массы в экологических науках и в этой книге даны в метрической системе. Поскольку часто количества велики, распространены префиксы, приведенные в табл. В.1. Поэтому могут получиться такие количества, как  $2 \text{ Пт} = 2 \cdot 10^{15} \text{ г}$ .<sup>\*</sup> Там, где упоминаются тонны, речь идет о метрической тонне, равной  $1 \cdot 10^6 \text{ г}$ .

Наиболее распространенный способ выражения количества атмосферных частиц в газообразном состоянии — доля числа молекул в единице объема воздуха. Обычно используются *число частиц на миллион (ppm)*, *на миллиард (ppb)* и *на триллион (ppt)*, все отнесены к единице объема и, таким образом, сокращаются ppmv, ppbv и pptv для отличия от отнесенных к единице массы. Любая из этих единиц может быть названа *отношением смеси объемов* или *молярным отношением*. Также могут быть использованы массовые отношения смеси (отсюда ppm, ppbm, pptm); распространенный пример — то, как метеорологи используют массовое отношение смеси для водяного пара. Поскольку атмосферное давление изменяется с изменением высоты над уровнем моря, парциальное давление каждой газообразной составляющей в движущемся потоке воздуха изменяется в одинаковых пропорциях, отношения смесей сохраняются, поскольку смесью между воздушными потоками можно пренебречь.

Речь может идти о смеси частиц твердых веществ и жидкостей, поэтому измерение, основанное на массе, заменяет измерение, основанное на объеме; обычными единицами измерения будут микрограммы на кубический метр ( $\text{мкг/м}^3$ ) или наногаммы на кубический метр ( $\text{нг/м}^3$ ). Для частиц в жидкостях приняты микрограммы на кубический сантиметр ( $\text{мкг/см}^3$ ). Иногда принято сравнивать количества элемента или соединения, присутствующих в более чем одной фазе, скажем, как газ и как частицы. В этом случае содержание газа в единице объема приводится к единице массы до того, как провести сравнение.

---

<sup>\*</sup> В русском переводе приведены к тоннам (*прим. ред.*).

Степени 10	Префикс	Символ
+24	йотта	Y
+21	зетта	Z
+18	экса	E
+15	пета	P
+12	тера	T
+9	гига	G
+6	мега	M
+3	кило	k
-3	милли	m
-6	микро	$\mu$
-9	нано	n
-12	пико	p
-15	фемто	f
-18	атто	a
-21	zepto	z
-24	йокто	y

Для элементов, присутствующих в водных растворах, как в морской воде, существует договоренность выражать концентрации в единицах объема в молях на литр (обозначается М) или каких-то их производных (один моль — это  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул). Обычные единицы концентраций в экологической химии — миллимоли на литр (мМ), микромоли на литр (мкМ) и наномоли на литр (нМ). Иногда представляет интерес сочетание концентраций видов, а не абсолютная концентрация. Общая концентрация, называемая *эквивалентом*, — это количество реагента, которое прореагирует с 8 г кислорода или его эквивалентом. Например, один моль ионов водорода — это один эквивалент  $H^+$ , но один моль ионов кальция — это два эквивалента  $Ca^{2+}$ . Единицы измерения эквивалентов — миллиэквиваленты или микроэквиваленты на литр, сокращенно экв/л и мкэкв/л. Третий подход заключается в выражении концентрации по массе, как, например, мг/л или, например, ppmw. Массовые концентрации могут быть переведены в объемные с использованием молекулярной массы в качестве переводного коэффициента.

Кислотность раствора выражается в единицах рН; рН определяется как величина, обратная логарифму концентрации ионов водорода, выраженной в молях на литр. В водных растворах рН = 7 — нейтральный раствор при 25°C. Более низкие значения рН характерны для кислотных, более высокие — для основных растворов.

# Глоссарий<sup>1</sup>

- Acid deposition (Кислотные осадки)** Поступление кислотных веществ на поверхность (в почву). Это возникает не только в результате выпадения осадков, но также в результате осаждения твердых атмосферных частиц и растворимых газов.
- Acquirotroph (Аквиротроф)** Промышленный организм, который добывает руду или другие полезные материалы для насыщения промышленных пищевых сетей.
- Acute (Острый)** В токсикологии — эффект, который наблюдается (в течение минут, часов или до нескольких дней) после подверженности загрязнению; либо само воздействие, которое вызывает реакцию, либо сама реакция может быть названа острой (в сравнении с *хронической*, см. ниже). Например, оральная яд, такой, как цианид, был бы остро токсичен.
- Anthropogenic (Антропогенный)** Возникающий в результате деятельности человека.
- Aquifer (Водоносный слой, или горизонт)** Любое водоносное скальное образование или группа образований, в особенности таких, которые снабжают подземные воды, ручьи или ключи.
- Autotroph (Автотроф)** Организм, способный ассимилировать энергию из неорганических соединений.
- Bioaccumulation (Биоаккумуляция)** Концентрация вещества организмом выше уровней, в которых это вещество присутствует в окружающей среде. Некоторые формы тяжелых металлов и хлорированных пестицидов, например ДДТ, могут биоаккумулироваться.
- Biomagnification (Биоувеличение)** Растущая концентрация вещества, когда оно поступает на более высокий трофический уровень пищевой сети. Многие вещества, которые биоаккумулируются, также могут биоувеличиваться.
- Biosphere (Биосфера)** Сферическая оболочка, охватывающая все формы жизни на Земле. Биосфера простирается от океанических глубин до высоты нескольких километров в атмосфере и включает поверхность материков. Также формы жизни внутри этой оболочки.

---

<sup>1</sup> Этот глоссарий был составлен из различных источников, включая: T.E. Graedel and P.J. Crutzen, *Atmospheric Change: An Earth System Perspective*, W. H. Freeman, New York, 446 pp., 1993; и B.W. Vigon, D.A. Tolle, B.W. Cornaby, H. C. Latham, C.L. Harrison, T.L. Bogunski, R.G. Hunt, and J.D. Sellers, *Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Practices*, Report EPA/600/R-92/245, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1993.

## 506

- Budget (Бюджет)** Баланс величин всех источников и видов использования для отдельного вида или группы видов в отдельном запасе.
- By-product (Побочный продукт)** Полезный продукт, который не является основным производимым продуктом. В анализе жизненного цикла побочные продукты рассматриваются как сопутствующие продукты.
- Carcinogen (Канцероген)** Вещество, вызывающее рак.
- Cascade recycling (Каскадное рециклирование)** см. Рециклирование по *открытой петле*.
- CFCs (ХФУ)** Хлорфторуглеродистые соединения, т.е. органические соединения, которые содержат атомы хлора и/или фтора. ХФУ считаются опасными для стратосферного озона.
- Chronic (Хронический)** В токсикологии — воздействие или эффект воздействия, который проявляется только через значительный промежуток времени — недели, месяцы или даже годы. Многие канцерогены являются хроническими токсинами: слабые воздействия многих тяжелых металлов, таких, как свинец, вызывают скорее хронические, чем острые эффекты.
- Closed-loop recycling (Рециклирование по замкнутой петле)** Система рециклирования, в которой определенная масса материала повторно используется для производства того же самого продукта (например, стеклянная бутылка в стеклянную бутылку). Также известно как *горизонтальное рециклирование*.
- Comet diagram (Кометообразная диаграмма)** Диаграмма, которая показывает этапы жизненного цикла продукта и возможности повторного использования в конце жизненного цикла продуктов, деталей и материалов.
- Commons (Община)** Географический регион или образование с общественной собственностью или без собственности (например, луга, океаны, атмосфера).
- Coproduct (Сопутствующий продукт)** Продаваемый на рынке побочный продукт процесса. Сюда входят материалы, которые традиционно могут быть определены как отходы, например промышленный лом, который впоследствии используется как сырье в различных производственных процессах.
- Cultural construct (Культурная конструкция)** Социальная идея или подход, который стал абсолютным и не вызывающим сомнения.
- Cycl (Цикл)** Система, состоящая из двух или более соединенных *запасов* (см.), где большая доля рассматриваемых материалов проходит сквозь систему циклическим образом.
- Depletion time (Период истощения)** Время, требуемое для исчерпания запаса ресурса, если текущий темп использования остается неизменным.



- Design for environment (Проектирование с учетом требований окружающей среды)** Инженерный подход, в котором оптимизируются имеющиеся отношение к окружающей среде характеристики продукта.
- Discount rate (Ставка дисконта)** Ставка, применяемая к будущим финансовым поступлениям для отражения временной стоимости денег и инфляции.
- Disposal (Захоронение)** Выбрасывание материалов или продуктов в конце полезного срока жизни без применения рециклирования или повторного использования.
- Dissipative (Рассеиваемый продукт)** Продукт, который безвозвратно разрушается после использования (например, краска, удобрение).
- Dose-response curve (Кривая доза—отклик)** Кривая, показывающая процентное отношение известной дозы материала, полученной живым организмом, к его отклику в тестовой популяции. Если вещество не дается напрямую, а присутствует в среде, окружающей организм (например, вода, воздух, осадок), результирующая кривая называется кривой концентрации — отклика.
- Ecology (biological) (Экология (биологическая))** Изучение распределения и обилия организмов и их взаимодействия с физическим миром.
- Ecoprofile (Экопрофиль)** Быстрый обзор проекта продукта или процесса с целью удостовериться, что в него не включены никакие опасные свойства, или определить, необходима ли дополнительная оценка.
- Elemental flow analysis (Анализ потоков элементов)** Анализ потоков определенного элемента внутри и вдоль границ определенного географического региона.
- Embodied energy (Овеществленная энергия)** Энергия, используемая для того, чтобы перевести отдельный материал или продукт из его первоначального физического запаса в особое физическое состояние.
- Emissions inventory (Инвентаризация выбросов)** Оценка типов, величин и реципиентов ущерба производственного процесса, предприятия, корпорации или географической единицы.
- Employotroph (Имплоитроф)** Промышленный организм, который использует продукты для различных целей.
- Energy audit (Энергетический аудит)** Учет входящих и исходящих потоков и потерь энергии в рамках промышленного процесса, завода, корпорации или географической единицы.
- Exergy (Экзергия)** Доступная энергия в системе. Строго говоря, работа на приведение системы с такой же температурой и давлением, как у окружающей среды, к тому же химическому составу, что и у окружающей среды.

## 508

- Expert system (Экспертная система)** Компьютерная система, интегрирующая знание в форме фактов и правил с логической стратегией, определяющей, как факты и правила должны использоваться для получения выводов. Система разработана для того, чтобы моделировать работу эксперта или группы экспертов в процессе принятия решений по сложным и не полностью определенным проблемам.
- Exposure (Подвержение (риску, опасности), воздействие)** Контакт между *опасностью* (см.), и рассматриваемой целью, которая может быть органом, индивидом, группой, биологическим сообществом или какой-либо другой системой. Сочетание подверженности и опасности вызывает риск.
- Externality (Экстерналии, внешние эффекты)** Издержки, которые не учитываются в рамках экономической системы и, таким образом, не отражаются в ценах.
- Flux (Поток)** Скорость выбросов, абсорбции или отложения некоторого вещества из одного запаса в другой. Часто выражается как скорость на единицу площади поверхности.
- Food chain (Пищевая цепь)** Последовательность, в которой ресурсы линейно перетекают от одного трофического уровня к другому.
- Food web (пищевая сеть)** Закономерность, в которой ресурсы перетекают в основном с одного трофического уровня на другой, но могут также нелинейно перетекать через трофические уровни.
- Fossil fuel (Ископаемое топливо)** Общий термин для сжигаемых геологических залежей углерода в редуцированной (органической) форме и биологического происхождения, включающих уголь, нефть, природный газ, нефтяные сланцы и нефтеносные пески.
- Fugitive emissions (Летучие выбросы)** Выбросы из клапанов или мест утечки оборудования процессов или областях хранения материалов, которые трудно измерить и которые не проходят сквозь устройства контроля загрязнений.
- Full-cost accounting (Учет полных издержек)** Система учета, в которой экологические издержки напрямую включаются в цены продуктов и услуг.
- Gangue (Жильная порода)** Нерудоносный или бесполезный материал, содержащийся в руде.
- Global warming (Глобальное потепление)** Теория, которая определила, что определенные вещества антропогенного происхождения в атмосфере вызывают или вызовут рост средней температуры на земле.
- Green accounting («Зеленый учет»)** Неформальный термин, относящийся к системам управленческого учета, которые определенным образом выделяют экологические издержки бизнеса вместо того, чтобы включать эти издержки в счета накладных расходов.

- Green chemistry («Зеленая» химия)** Использование химических методов и методологии, которые сокращают или прекращают использование или образование сырья, продуктов, побочных продуктов, растворителей и реагентов, опасных для окружающей среды.
- Greenhouse effect (Парниковый эффект)** Аккумулирование атмосферными газами исходящего инфракрасного излучения, испускаемого Землей. Часть излучения, отраженная атмосферой, возвращается на поверхность Земли, вызывая ее нагревание.
- Greenhouse gas (Парниковый газ)** Газ с абсорбционной способностью в инфракрасном диапазоне спектра. Основные парниковые газы в атмосфере Земли —  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ .
- Hazard (Опасность)** (как используется в оценке риска) Материал или условие, которое может вызвать ущерб, ранение или другой вред, часто определяемые посредством стандартных оценок, проводимых на биологических системах или организмах. Совмещение опасности и подверженности воздействию создают риск.
- Heterotroph (Гетеротроф)** Организм, который добывает энергию и питательные вещества из организмов, находящихся на более низких трофических уровнях.
- Heuristics (Эвристики)** Интуитивные правила, используемые экспертами при принятии решения. В экспертных системах представления эвристики совмещены с алгоритмами (точными определениями и процедурами) для получения выводов, касающихся проблем, характеристики которых не могут быть полностью определены.
- Hitchhiker resource (Сопутствующий ресурс)** Ресурс, получаемый в основном как побочный продукт добычи других ресурсов.
- Home scrap (Домашний лом)** Отходы, производимые на производственном предприятии, так же как негодный материал, обрезки и стружка. Домашний лом рециркулирует в рамках производственного предприятия и не становится внешними отходами (также называется *быстрым ломом* (см)).
- Horizontal recycling (Горизонтальное рециклирование)** см. *Рециклирование по закрытой петле*.
- Impact analysis (Анализ улучшений)** Окончательный этап оценки жизненного цикла, в котором используются методы проектирования с учетом требований окружающей среды в сочетании с результатами первого и второго этапов LCA для улучшения экологического плана процесса, продукта или предприятия.
- Indicator (Индикатор)** Неколичественная мера статуса выбранного параметра, экологического или какого-либо другого.
- Industrial ecology (Промышленная экология)** Подход к проектированию промышленных продуктов и процессов, который оценивает та-

## 510

кую деятельность через двойственную перспективу конкурентоспособности продукта и экологических воздействий.

**Industrial symbiosis (Промышленный симбиоз)** см. *Симбиоз*.

**Inventory analysis (Инвентаризационный анализ)** Первый этап оценки жизненного цикла, в котором определяются затраты и выпуск материалов для процесса, продукта или предприятия.

**Inviolates list (Список «ненарушений»)** Список решений в области проектирования, которые запрещается принимать проектировщикам продуктов или процессов.

**Leachate (Стоки)** Жидкость, которая образуется при прохождении воды сквозь проницаемое твердое вещество, как на полигоне отходов.

**Life cycle (Жизненный цикл)** Этапы жизни продукта, процесса или упаковки, начинающиеся с добычи сырья, продолжающиеся в переработке, производстве материалов, производстве продуктов и использовании и завершающиеся любым вариантом управления отходами.

**Life cycle assessment (Оценка жизненного цикла)** Концепция и методология для целостной оценки воздействий продукта или деятельности на окружающую среду путем анализа всего жизненного цикла отдельного материала, процесса, продукта, технологии, услуги или деятельности.

Оценка жизненного цикла состоит из трех взаимодополняющих компонентов: (1) определения цели и масштаба, (2) инвентаризационного анализа и (3) анализа воздействия вместе с интегрирующей процедурой, известной как анализ улучшения.

**Material flow analysis (Анализ материальных потоков)** Анализ потоков материалов внутри и через границы определенных географических регионов.

**Metabolic analysis (Метаболический анализ)** Анализ суммы физических и химических процессов, происходящих в организме, биологическом или промышленном.

**Metric (Метрика)** Количественная мера статуса выбранного параметра, экологического или иного.

**Mineral (Минерал)** Отличимая твердая субстанция, которая имеет специфический химический состав, например кварц ( $\text{SiO}_2$ ) или магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

**Molecular flow analysis (Анализ молекулярных потоков)** Анализ потоков определенных молекул внутри и сквозь границы определенного географического региона.

**Mutagen (Мутаген)** Опасность, которая может вызвать необратимые изменения ДНК.

- Neurotoxin (Нейротоксин)** Опасность, которая может нанести ущерб нервным клеткам или нервной системе.
- New scrap (Новый лом)** см. *Быстрый лом*.
- Nonpoint source (Неточечный источник)** см. *Источник*
- NO<sub>x</sub>** Сумма обычных загрязняющих газов NO и NO<sub>2</sub>
- Old scrap (Старый лом)** см. *Производственные твердые отходы*.
- Omnivory (Всеядность)** Использование ресурсов из организмов на нескольких различных трофических уровнях.
- Open-loop recycling (Рециклирование по открытой петле)** Система рециклирования, в которой продукт из одного вида материала рециклируется в продукт другого типа (например, пластиковые бутылки используются в конструкциях ограждений). Продукт из рециклированного материала может или не может быть рециклирован. Также известно как *каскадное рециклирование*.
- Ore (Руда)** Природная порода, содержащая экономически ценный ресурс.
- Overburden (Перекрывающие пласты)** Материал, который должен быть удален или перемещен.
- Ozone depletion (Разрушение озонового слоя)** Сокращение концентрации стратосферного озона как следствие химических реакций с молекулярными фрагментами, полученными из антропогенных соединений, в особенности CFC и других галоидных соединений углерода.
- Packaging, primary (Упаковка первичная)** Уровень упаковки, когда она находится в контакте с продуктом. Для определенных напитков, например, — алюминиевая банка.
- Packaging, secondary (Упаковка вторичная)** Второй уровень упаковки продукта, который содержит одну или несколько первичных упаковок. Например, пластиковые кольца, которые удерживают несколько банок с напитками вместе.
- Packaging, tertiary (Упаковка третичная)** Третий уровень упаковки для продукта, который содержит одну или несколько вторичных упаковок. Например, гибкая оболочка поверхности, используемая для транспортировки пачек банок с напитком.
- Plating (Анодирование)** Покрытие поверхности тонким слоем металла.
- Point source (Точечный источник)** см. *Источник*
- Pollution prevention (Предотвращение загрязнения)** Проектирование или работа процесса, объекта или элемента оборудования таким образом, чтобы минимизировать воздействия на окружающую среду.
- Postconsumer scrap (Потребительский лом)** См. *Потребительские твердые отходы*.
- Postconsumer solid waste (Потребительские твердые отходы)** Материал, который служил по своему предполагаемому назначению и стал

## 512

частью потока отходов (также называется *старым ломом* или *потребительским ломом*).

**Prompt scrap (Быстрый лом)** Отходы, произведенные пользователями полуфабрикатов (стружки, обрезки). Этот лом должен обычно возвращаться переработчику материалов, если он должен быть рециклирован (также называется *домашний лом* или *новый лом*).

**Recycling (Рециклирование)** Выявление и повторное использование выпускаемых или выбрасываемых материальных потоков, полезных для использования в продуктах (приложениях).

**Remanufacture (Повторное производство)** Процесс подбора крупных объемов схожих продуктов ради целей демонтажа, оценки, обновления и повторного использования.

**Reserve (Резерв)** Общий известный объем ресурсов, который может быть добыт с использованием современной технологии по современным рыночным ценам.

**Reserve base (Резервная база)** Общий известный объем ресурса, который может быть добыт безотносительно технологии или рыночных цен.

**Reservoir (Запас)** Хранилище с определенными характерными физическими, химическими и биологическими свойствами, которые относительно равномерно распределены.

**Reuse (Повторное использование)** Использование материалов и продуктов повторно без необходимости рециклирования или повторного производства.

**Reverse fishbone diagram (Диаграмма обратной рыбной кости)** Диаграмма, показывающая этапы демонтажа продукта.

**Risk (Риск)** Подверженность опасности и сама опасность; статистическая концепция, отражающая вероятность того, что нежелательное событие произойдет из-за определенных условий (воздействие определенных веществ в определенной концентрации на протяжении определенного периода времени).

**Risk assessment (Оценка риска)** Оценка потенциальных последствий для человека, дикой природы или окружающей среды, вызванных процессом, продуктом или видом деятельности, включающая как вероятность, так и воздействие данного события.

**Scenario (Сценарий)** Альтернативное видение того, как может развиваться будущее.

**Servicizing (Услугозамещение)** Удовлетворение потребности путем предоставления услуги, а не продуктов, которые удовлетворяют эту потребность.

**Slag (Шлак)** Смешанные отходы, образующиеся при извлечении металлов из руд.

## НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты, чертежи...
3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе ТЕХНИКА

Приглашаем авторов

ной солнцем атмосфере оксидантов, таких, как  $O_3$ , путем фотоллиза из  $NO_2$  и других веществ, обычно в сочетании с вызывающими туман частицами.

**Solute (Растворенное вещество)** Вещество, растворенное в *растворителе*.

**Solution (Раствор)** Смесь, в которой компоненты равномерно распределены на атомарном и молекулярном уровне. Хотя существуют жидкие, твердые и газообразные растворы, подразумевается жидкое состояние, если другое не оговорено.

**Solvent (Растворитель)** Субстанция, обычно жидкая, в которой могут быть растворены другие вещества.

**Source (Источник)** В экологической химии — процесс или источник, из которого субстанция поступает в запас. *Точечные источники* — это те, где существуют идентифицируемые источники, такие, как дымовая труба. *Неточечные источники* — те, которые образуются при рассеянных выбросах в большом географическом регионе: пестициды, поступающие в реку как сток сельскохозяйственных земель.

**Stratosphere (Стратосфера)** Атмосферная оболочка, лежащая сразу же под тропосферой и характеризующаяся стабильным уровнем потоков. В нижней части стратосферы температура примерно постоянна и растет от высоты 20 км до стратопаузы на высоте приблизительно 50 км.

**Streamlined life cycle assessment (Упрощенная оценка жизненного цикла продукта (SLCA))** Упрощенная методология для целостной оценки воздействий продукта или деятельности на окружающую среду путем анализа наиболее значительных воздействий на окружающую среду в жизненном цикле отдельного продукта, процесса или деятельности. Упрощенная оценка жизненного цикла состоит из трех дополняющих друг друга элементов — (1) ограниченного инвентаризационного анализа, (2) сокращенной оценки воздействий и (3) анализа улучшений — вместе с итеративной процедурой, известной как определение границ.

**Stressor (Стрессогенные факторы)** Набор условий, которые могут привести к нежелательному воздействию на окружающую среду.

**Substance flow analysis (Анализ потоков веществ)** Анализ потоков конкретного, химически определенного вещества внутри и сквозь границы определенного географического региона. Слово «вещество» обычно включает атомы и молекулы рассматриваемой субстанции безотносительно ее химической формы.