

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**В. Л. Колесников, И. М. Жарский,  
П. П. Урбанович**

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Допущено  
Министерством образования Республики Беларусь в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений  
по химико-технологическим специальностям*

Минск 2008

УДК 66:681.3(075.8)

ББК 35:32:85я7

К 86

Рецензенты:

кафедра Международного государственного экологического  
университета им. А. Д. Сахарова  
(ректор университета, лауреат Государственной премии  
Республики Беларусь в области науки и техники,  
доктор технических наук, профессор *С. П. Кундас*);  
зав. кафедрой математического моделирования  
и анализа данных Белорусского государственного университета,  
чл.-кор. НАН Беларуси, доктор физико-математических наук,  
профессор *Ю. С. Харин*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Колесников, В. Л.**

К 86 Компьютерное моделирование в химической технологии.  
Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие для  
студентов химико-технологических специальностей / В. Л.  
Колесников,  
И. М. Жарский, П. П. Урбанович. – Минск : БГТУ, 2008. – 336 с.

ISBN 978-985-434-819-3

Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей высших учебных заведений предназначено для методического, информационного, математического и программного обеспечения курсовых и дипломных работ по компьютерному моделированию и оптимизации химико-технологических систем.

Может быть полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам химической промышленности и охраны окружающей среды.

УДК 66:681.3(075.8)

ББК 35:32:85я7

ISBN 978-985-434-819-3

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2008  
© Колесников В. Л., Жарский И. М.,

Урбанович П. П., 2008  
**ПРЕДИСЛОВИЕ**

Бурное развитие вычислительной техники и связанный с ним прогресс прикладной математики привели к переоценке ценностей. Если раньше основным требованием к методам расчета была простота, то в наше время таким требованием является точность, так как вычислительные трудности неизмеримо уменьшились.

Так появилась необходимость в дальнейшем усовершенствовании науки о химической технологии. Его основная задача – разработка методов нахождения оптимальных инженерных решений на базе рассмотрения химического производства как сложной системы, состоящей из большого числа взаимодействующих процессов.

Основная цель данной книги заключается в том, чтобы улучшить закрепление теоретических знаний и способствовать формированию у студентов инженерного мышления, которое поможет им легче приспособиться к возрастающим требованиям оптимального технологического управления процессами химической технологии.

Авторы стремились максимально приблизить излагаемый материал к практическим задачам, не впадая, однако, в другую крайность – сделать книгу описанием рецептов и готовых технических решений.

Материал пособия ориентирован на студентов, знакомых с основами приложений, входящих в пакет MS Office XP. Поэтому в описание разделов по Word и Excel включены только те способы и практические приемы, которые методически обеспечивают специфические требования к оформлению курсовых работ по данной дисциплине.

Обычно в учебные программы для младших курсов не включаются такие программные средства, как редактор векторной компьютерной графики MS Visio, получение информационно-справочных систем с помощью HelpHTML, редактор математических формул MathType и редактор химических формул ChemWin. Поэтому данные программные средства в учебном пособии описаны более подробно.

Особое место в книге занимает использование обучающих программных модулей, разработанных авторами. Поскольку детальное описание этих модулей содержится в трех учебных пособиях, изданных ранее [37–40], в данной книге дается только практическое

их использование.

## 1. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ КУРСОВЫХ РАБОТ

### 1.1. Форма представления курсовых работ

Курсовая работа представляется в виде файлов на магнитных или оптических носителях.

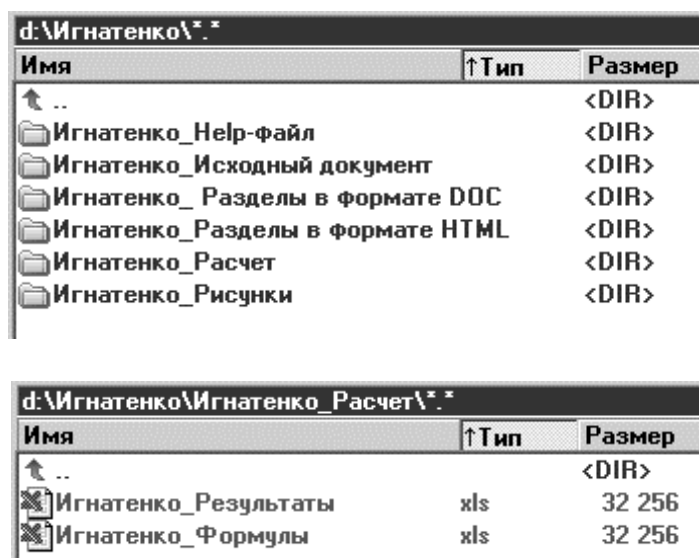


Рис. 1.1. Имена директорий и файлов

В компьютерный документ необходимо включать все файлы всех промежуточных и окончательных результатов, как это показано на рис. 1.1. В качестве директорий и имен файлов использовать только фамилии исполнителей. Все файлы представляются в исходных форматах использованных приложений (\*.doc, \*.bmp, \*.dat, \*.hlp, \*.zip, \*.hsc, \*.cnt, \*.rtf, \*.hhp, \*.hhc, \*.chm, \*.gif, \*.txt, \*.jpg, \*.htm, \*.sdr, \*.cmx, \*.mcd, \*.xls, \*.exe, \*.vsd).

### 1.2. Средства выполнения курсовых работ

Средства выполнения курсовых работ:

– теоретическая часть курсовой работы, описание экспериментальной и расчетной частей должны быть выполнены в среде

MS Word;

– схемы, диаграммы и рисунки необходимо оформлять с помощью средств векторной компьютерной графики в системе MS Office Visio или панели рисования в WinWord; допускаются растровые иллюстрации в виде копий экрана;

– все формулы обязательно должны быть выполнены с помощью редактора формул Equation 3 или MathType;

– расчеты, таблицы с исходными, экспериментальными и расчетными данными, графики и диаграммы выполняются с помощью пакета Mathcad или электронных таблиц MS Excel;

– подготовленные к защите и сдаче на кафедре документы не должны защищаться паролем.

### **1.3. Структура и состав курсовых работ**

Курсовая работа должна состоять из следующих разделов:

- Титульный лист.
- Задание.
- Реферат.
- Описание проблемы.
- Теоретическая часть и методические основы решения проблемы.
- Графическая часть.
- Экспериментальная часть.
- Расчетная часть.
- Описание объекта.
- Формулировка задачи.
- Исходные данные.
- Алгоритм и программа решения.
- Результаты.
- Обсуждение результатов.
- Выводы.
- Оглавление.
- Список использованной литературы.

### **1.4. Разновидности курсовых работ**

Тематика курсовых работ включает в себя следующие группы:

1. Расчеты технологических процессов и оборудования.
2. Моделирование и оптимизация химико-технологических систем.
3. Создание компьютерных информационно-справочных систем

по химической технологии.

4. Разработка презентаций по охране окружающей среды и организации работы в химической технологии.

5. Создание компьютерных документов с регламентами, схемами, характеристиками и эскизами технологического оборудования.

## **2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВЫХ РАБОТ**

Все курсовые работы необходимо выполнять и оформлять в соответствии с СТП БГТУ 002-2007 «Проекты (работы) курсовые».

Все работы должны быть напечатаны шрифтом 14-го кегля книжной ориентации с соблюдением требований, указанных в табл. 2.1.

Таблица 2.1

### **Наименования и значения параметров текстового документа**

| Наименование параметров  | Значения параметров |
|--|---------------------|
| Кегль шрифта основного текста  | 14 пт               |
| Поля, мм: верхнее, нижнее, левое, правое   | 20, 15, 30, 15      |
| Расстояние от края страницы до колонтитула, мм   | 10                  |
| Межстрочный интервал   | одинарный           |
| Абзацный отступ, мм  | 12,5                |
| Отбивка заголовков и рисунков сверху, снизу, пт  | 14<br>18            |
| Расстояние от текста до нумерационного заголовка таблицы (напр., Таблица 7.1), пт                          | 14                  |
| Расстояние от названия таблицы до ее головки, пт   | 6                   |
| Кегль шрифта подрисуночных подписей, пт  | 12                  |
| Кегль шрифта надписей на рисунках, пт  | 14                  |
| Кегль шрифта номера страницы, пт   | 12                  |
| Кегль шрифта в формулах, пт:<br>основной,<br>индексы,<br>подиндексы,<br>крупные символы (напр., $\Sigma$ ) | 14<br>9<br>7<br>18  |

Текст пояснительной записки разбивают на разделы и подразделы, а при необходимости на пункты и подпункты в соответствии с ГОСТ 2.105.

Каждый раздел и подраздел должен иметь краткий заголовок. Заголовок раздела записывается прописными буквами по центру. Заголовок подраздела записывается с абзаца строчными буквами

(кроме первой прописной). Перенос слов в заголовках не допускается. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Все разделы, подразделы, пункты и подпункты должны быть пронумерованы арабскими цифрами, после которых ставится точка. Высота цифр такая же, как и прописных букв.

Подразделы должны быть пронумерованы в пределах своего раздела. Номер состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Например 3.1 (первый подраздел третьего раздела).

Пункты должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела и подраздела. Номер пункта состоит из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точками, например 3.1.1.

Номер подпункта состоит из номера раздела, подраздела, пункта и подпункта, разделенных точками, например 3.1.1.1.

Структурные составляющие курсовой работы: титульный лист, задание, реферат, содержание, введение, список использованных источников – не нумеруются.

Каждый раздел пояснительной записки, а также реферат, содержание, введение, список использованных источников следует начинать с нового листа и выполнять в рамке с основной надписью формы 2 ГОСТ 2.104 (приложение 3). Последующие листы выполняют в соответствии с требованиями кафедры.

Все расчеты выполняют только в системе СИ. При использовании формул из первоисточников, в которых употреблены внесистемные единицы, их значения переводят в единицы системы СИ.

Все страницы пояснительной записки, начиная с титульного листа, должны иметь сквозную нумерацию. Номер страницы просят в правом верхнем углу без точки, начиная со страницы «Введение».

Размер шрифта текста таблицы должен быть равен 12 пт. Названия таблиц выделяют полужирным начертанием шрифта. При переносе части таблицы на следующую страницу слово «Таблица» и ее номер указывается один раз над первой частью таблицы, а над другими ее частями пишется надпись «Продолжение табл.» или «Окончание табл.» с указанием номера таблицы. При переносе таблицы с 2–3 графами их заголовки повторяют, если граф больше, то их нумеруют арабскими цифрами.

В сложных словах печатают дефис, например, минерал-индикатор, К-пространство.

Тире отбивают с обеих сторон неразрывным пробелом (*Ctrl + Shift + пробел*) как знак препинания между словами, а также в следующих случаях: закон Бойля – Мариотта, система «человек – машина», май – июнь и т. п. Тире между цифрами, обозначающими пределы какой либо величины, не отбивается (например, 20–30 чел.).

Кавычки по всей работе должны быть одного рисунка («елочки»). Кавычки не отбивают от заключенных в них слов.

Знаки %, ° от предшествующих чисел не отбиваются, например, 10%, 8°, 12°C.

Знаки –, + при цифре не отбивают (–10°C), но отбивают неразрывным пробелом, если они являются знаками арифметического действия ( $R + R2 - 0,75$ ).

Нельзя отделять при переносе на новую строку фамилию от инициалов, сокращенные слова от имен собственных, к которым они относятся, а также римские или арабские цифры от их полных или сокращенных наименований.

Строку заголовка не заканчивают предлогом, союзом, наречием – их нужно перенести на следующую строку. Переносы в заголовках недопустимы. Точка в конце заголовка не ставится.

Размер абзацного отступа делают одинаковым по всей работе. Концевая строка абзаца должна превышать размер абзацного отступа не менее, чем в 1,5 раза. На последних страницах разделов, глав должно быть не менее 10 строк текста, если следующий раздел, глава начинаются с новой страницы.

Следует избегать в работе употребления разных терминов для обозначения одного понятия (хлорсодержащий и хлоросодержащий, лістава и лісцевы, мінута и хвіліна), вариантности при написании терминов (древесностружечный и древесно-стружечный; слабонасыщенный и слабо насыщенный), смешения понятий (схіл, ухіл, нахіл; прадуктыўны и прадукцыйны).

В тексте пояснительной записки не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов на языке написания записки;

- применять произвольные словообразования и сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии и соответствующими стандартами по ГОСТ 2.316;



– сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением физических величин в головке таблиц и в расшифровке буквенных обозначений, входящих в формулы;

– применять сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии, пунктуации, а также соответствующими государственными стандартами (ГОСТ 7.12);

– употреблять математические знаки без цифр, например  $\leq$  (менее или равно),  $\geq$  (более или равно),  $\neq$  (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);

– применять индексы стандартов (ГОСТ, СТБ, КТП, СТП, ТУ) без регистрационного номера;

– использовать в тексте математический знак (–) минус перед отрицательными значениями величин, следует писать слово «минус».

В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если в пояснительной записке принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком использованных источников) должен быть приведен перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включается в содержание курсового проекта (работы).

Если в записке принята особая система сокращения слов или наименований, то в нем приводится перечень принятых сокращений, который помещают в конце документа перед перечнем принятых терминов.

Все линии на рисунках должны быть четкие и равномерные по толщине. Диаграммы желательно выполнять в Microsoft Excel.

Все надписи на рисунках набирают на компьютере и группируют с рисунком. Надписи на рисунках выполняют шрифтом одного начертания и размера (кегля) по всей работе. Подрисуночные подписи должны соответствовать содержанию рисунка. Оформление таблиц, рисунков, подрисуночных подписей, схем, примечаний должно быть единообразным по всей работе.

Расчетные формулы и уравнения записывают в общем виде, затем подставляются числовые значения величин в том порядке, в каком они располагаются в формуле, и сразу записывается окончательный результат с указанием размерности. Промежуточные вычисления, сокращения и зачеркивания не допускаются.

Непосредственно под формулой должны быть приведены значения символов, числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не встречались ранее. Значение каждого символа с указанием размерности дают с новой строчки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слов «где» без двоеточия.

В формулах в качестве символов следует применять значения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии принятыми в отрасли.

Все формулы и уравнения нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. Если формула одна, она не нумеруется. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

В расшифровку приведенных в формуле буквенных обозначений величин следует включать все обозначения, помещенные как в левой, так и в правой частях формулы. Последовательность расшифровки буквенных обозначений величин должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле.

В формулах для переменных, обозначаемых латинскими буквами, используется курсивное начертание. Греческие и кириллические символы, скобки, тригонометрические функции  $\text{tg}$ ,  $\text{sin}$ ,  $\text{cos}$ ,  $\text{ctg}$  и т. п.,  $\log$ ,  $\ln$ ,  $\max$ ,  $\min$ , единицы измерения (Вт, В, Дж, кг, м и пр.), а также все цифры должны иметь прямое начертание.

Нельзя разрывать абзац (предложение) рисунком (таблицей).

Нумерация таблиц, рисунков и формул должна быть единообразной – сквозной или по разделам.

Нумерация страниц работы начинается с титульного листа (титул – первая страница). При этом номер не ставится (но подразумевается).

Диаграммы выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.319-81. В диаграммах значения величин, связанных изображаемой функциональной зависимостью, следует откладывать на осях координат в виде шкал. Диаграммы для информационного изображения функциональных зависимостей допускается выполнять без шкал значений величин. В диаграммах без шкал оси координат следует заканчивать стрелками, указывающими направления возрастания значений величин.

Значения переменных величин следует откладывать на осях координат в линейном или нелинейном масштабах изображения. Масштаб, который может быть разным для каждого направления

координат, выражается шкалой значений откладываемой величины.

Диаграммы без шкал следует выполнять во всех направлениях координат в линейном масштабе изображения. Числа у шкал нужно размещать вне поля диаграммы и располагать горизонтально.

Диаграммы следует выполнять линиями по ГОСТ 2.303. Оси координат, оси шкал, ограничивающие поле диаграммы, выполняют сплошной основной линией, линии координатной сетки и делительные штрихи – сплошной тонкой линией.

Точки диаграммы, полученные путем измерения или расчетов, допускается обозначать графически, например, кружком, крестиком и т. п. Обозначения точек должны быть разъяснены в пояснительной части диаграммы.

Переменные величины следует указывать одним из следующих способов: символом, наименованием, наименованием и символом, математическим выражением функциональной зависимости.

В диаграмме со шкалами обозначения величин следует размещать у середины шкалы с ее внешней стороны, а при объединении символа с обозначением единицы измерения в виде дроби – в конце шкалы после последнего числа. В диаграмме без шкал обозначения величин следует размещать вблизи стрелки, которой заканчивается ось. Обозначения в виде символов и математических выражений следует располагать горизонтально, а обозначения в виде наименований или наименований и символов – параллельно соответствующим осям.

## 3. ТЕКСТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВЫХ РАБОТ

### 3.1. Горький опыт ошибок

#### 3.1.1. Игнорирование стилей

Наблюдая за теми, кто приступает к текстовому оформлению курсовых работ, часто приходится убеждаться в том, что многие расценивают компьютер как простую механическую пишущую машинку. По всей видимости, они считают, что поскольку все компьютеры выглядят примерно одинаково, то и при создании текстовых документов можно не обращать внимания на уникальность их настроек. А между тем, персональный компьютер на то и персональный, что может автоматически подстраивается под личность того, кто на нем работает. Вот тут-то и проявляется разница между «прохождением» материала по Microsoft Office на младших университетских курсах и практическим его применением для своих конкретных и понятных профессиональных интересов на четвертом курсе и в жизни.

Дело в том, что каждый документ Microsoft Word основан на шаблоне. Шаблон определяет основную структуру документа и содержит настройки элементов автотекста, шрифтов, назначенных сочетаний клавиш, макросов, меню, параметров страницы, форматирования и стилей.

Общие шаблоны Microsoft Office, включая основной шаблон **Normal.dot** для Microsoft Word, содержат настройки, доступные для всех документов. Загрузка приложения Microsoft Word и исполнение команды *Создать* на верхней панели инструментов автоматически создают заготовку документа, основанного на шаблоне Normal.dot. Но в процессе работы пользователь по своему усмотрению обычно изменяет настройки панелей форматирования, шрифты и стили. Эти

изменения настроек, как правило, автоматически сохраняются в шаблоне Normal.dot при выходе из Microsoft Word. Поэтому следующий пользователь будет наследовать те изменения в Normal.dot, которые внес в него предыдущий пользователь, на этом компьютере.

На рис. 3.1 и 3.2 приводится пример использования компьютера как механической пишущей машинки. На рис. 3.1 видимость благополучия. Вроде, на первый взгляд, все в порядке. Но если сделать видимыми все знаки форматирования (рис. 3.2), то становится очевидным, что положение заголовка, отступы первой строки абзаца и размещение формулы управляются вручную клавишей пробела; интервалы между заголовком, формулой и текстом также делаются по аналогии с пишущей машинкой (возврат каретки) – клавишей *Enter* (конец абзаца). Более того, автор этой курсовой работы длину каждой строки задает сам клавишей *Enter*, не догадываясь, что Microsoft Word форматирует абзац автоматически.

**1.2.Методы получения диаграмм**

Токсичность смесей рационально оценивать с помощью диаграмм «состав-свойство» в барицентрической системе координат.

При исследовании смесевых систем на переменные накладываются ограничения

$$\sum_{i=1}^s x_i = const \quad (1.1)$$

Ограничения такого типа характерны для смесей S компонентов. Сумма компонентов чаще всего нормируется, (смесь выступает как единое целое), поэтому const принимает значение 1, а  $x_i$  – относительное содержание i-компонента в смеси.

Рис. 3.1. Пример скрытой компьютерной безграмотности пользователя

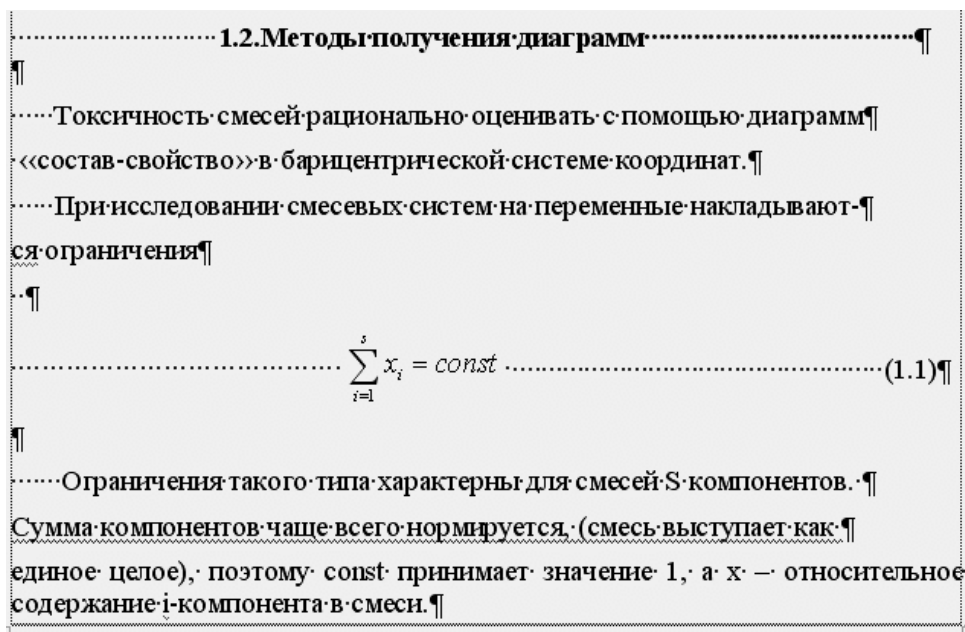


Рис. 3.2. Пример явной компьютерной безграмотности пользователя

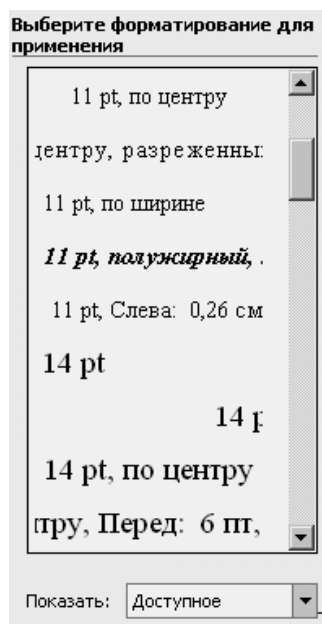


Рис. 3.3. Список доступных стилей

Этот студент, представивший на защиту свою курсовую работу, уверен, что она выполнена в одном стиле. Но если посмотреть список доступных стилей этого документа, то окажется, что их великое множество (рис. 3.3), поскольку каждый лишний пробел и знак абзаца создают новый стиль.

Объективная ценность каждой курсовой работы, кроме накопления опыта работы с компьютером у исполнителя, состоит также и в том, что ее можно было бы использовать для включения в пояснительные записки дипломных проектов, методические материалы и научные отчеты. Но для этого придется вручную «выкусывать» каждый лишний пробел и символ абзаца, при этом

обязательно нарушится верстка.

### 3.1.2. Присоединение документов с разным форматированием

Часто появляется необходимость включить в создаваемый документ фрагмент текста из другого документа, основанного на другом шаблоне. Присоединение осуществляется путем копирования в буфер обмена присоединяемого документа с

последующей вставкой содержимого буфера обмена в основной документ.

При этом форматирование присоединенного документа заменяется форматированием из шаблона документа, к которому присоединен фрагмент (рис. 3.4 и 3.5).



Рис. 3.4. Фрагмент текста до присоединения



Рис. 3.5. Фрагмент текста после его присоединения к документу, основанному на другом шаблоне

Как видно из рисунков, с присоединенным документом произошли существенные изменения:

- изменились параметры страницы и размеры полей;
- изменилось форматирование абзаца с изменением отступа первой строки и междустрочного интервала;
- изменился стиль шрифта, поэтому надписи в рамках стали восприниматься как первые строки с соответствующими сдвигами

текста.

Разумеется, что вся верстка в присоединенном документе окажется нарушенной.

Способы решения этой проблемы указаны в п. 3.2.15 «Сравнение и объединение документов».

### **3.1.3. Трудности при создании и форматировании таблиц**

При работе с таблицей возможны следующие проблемы с отображением текста в ячейках:

- обрезание текста по горизонтали (не видно начала или конца строки);
- обрезание текста по вертикали (снизу);
- отсутствие текста в ячейке.

В первом случае «обрезание» текста, скорее всего, вызвано установкой отрицательного значения для левого или правого отступов в диалоговом окне *Абзац* на вкладке *Отступы и интервалы*. Во втором случае отсутствие нижних строк или срезание символов снизу вызвано установкой фиксированной высоты строки. Чтобы снять точную установку высоты строки, сделайте щелчок правой кнопкой мыши и выберите команду *Свойства таблицы* из открывшегося контекстного меню. Далее в диалоговом окне *Свойства таблицы* раскройте вкладку *Строка* и выберите элемент *Минимум* в раскрывающемся списке *Режим*. Если элементы списка *Режим* недоступны, установите флажок *Высота*. После выбора элемента *Минимум* флажок *Высота* лучше сбросить для фиксации режима *Минимум* как наиболее удобного при работе с таблицей. В третьем случае нужно изменить форматирование абзаца, введя в поле *Текстовая строка* группы *Отступ* слово *нет*.

### **3.1.4. Ошибки при создании и редактировании формул**

Главная ошибка при создании и редактировании формул заключается в том, что настройки редактора формул Equation автоматически сохраняются при закрытии редактора, поэтому при работе на другом компьютере или с другим документом стиль и размеры символов могут быть разные. Чтобы устранить разновеликость символов, некоторые пользователи прибегают к приему изменения (подгонки) размеров путем растягивания формул за угловые маркеры (рис. 3.6).



$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Рис. 3.6. Изменение размеров формул путем растягивания их за угловые маркеры

действий: *Формат* => *Объект* => *Размер* => *Масштаб* => *По высоте* => 100% => *По ширине* => 100%.

Вторая распространенная ошибка связана с использованием в формулах разных стилей, даже в пределах одного документа (рис. 3.7).

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Рис. 3.7. Формула, выполненная в разных стилях

Для большинства видов документов в формулах установлен один стиль: все переменные – курсив, все цифры, скобки и греческие символы – прямое начертание.

### 3.1.5. Трудности при создании оглавления

Составление оглавления вручную в курсовых работах не разрешается. Допустим только автоматический режим вставки оглавления. Это становится возможным лишь тогда, когда всем заголовкам разного уровня назначен соответствующий стиль.

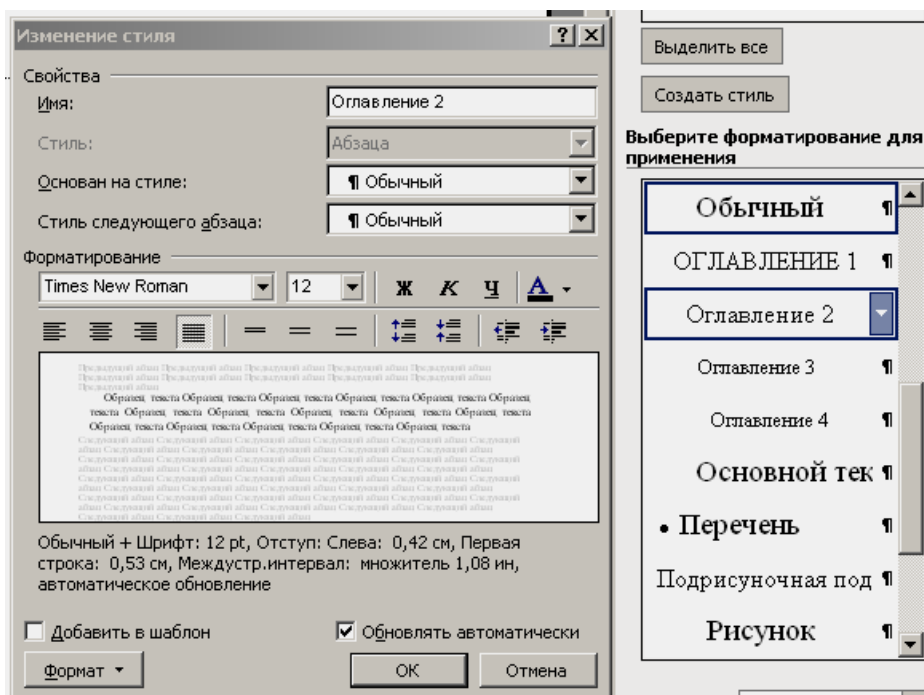


Рис. 3.8. Форматирование стилей оглавления (пример выбора стиля шрифта и его размеров для различных уровней на рисунке справа)

Пунктам оглавления необходимо присвоить стиль (Оглавление 1, Оглавление 2, Оглавление 3 и т. д.) (рис. 3.8).

Плохо смотрится оглавление, составленное комбинированием различных шрифтов, различных размеров и начертаний.

### 3.1.6. Неудачность выбора цветовых сочетаний

По тому, как использован прием заливки цветом заголовков, таблиц, фигур, технологических схем, эскизов оборудования и других компонентов документа, можно судить о хорошем или вульгарном вкусе исполнителя курсовой работы.

Конечно, очень трудно навязать вкус универсальный, одинаковый для всех. У каждого свои представления о красоте, трудно, например, научить всех понимать и любить классическую музыку. Но есть совершенно очевидные примеры безвкусицы, когда соседствуют насыщенные, яркие, несочетаемые цвета, причем на странице изобилие различных цветных пятен. Такая пестрота уместна где-нибудь в тропическом лесу, а не в пояснительной записке к курсовой работе.

Лучше всего пользоваться оттенками разной (но не большой) интенсивности.

Обычно считаются несовмещаемыми сочетания:

коричневый / фиолетовый;      зеленый / фиолетовый;  
красный / фиолетовый;      зеленый / голубой;  
синий / зеленый;      синий / коричневый.

### **3.1.7. Ошибки при выборе шрифтов**

Выбор шрифтов, как и выбор заливки цветом, тоже много говорит об эстетическом вкусе автора. Иногда можно встретить даже на одной странице и Arial, и Times New Roman, и Courier New и др.

Помните, как А. Пугачева поет о маге-недоучке, у которого есть диплом, «только вот дело в том, что всемогущий маг лишь на бумаге он? Сделать хотел грозу, а получил козу, розовую козу с желтой полосой. Вместо хвоста – нога, а на ноге – рога... Да-а-а! – Не хотел бы я встретиться с той козой!»

А между тем, смысловые акценты в тексте можно расставить, не прибегая к смене шрифтов. Слова и фразы выделяют **полужирным**, *курсивом*, подчеркнутым, разрядкой, уплотнением, масштабом и т. д., а также их комбинацией (*Формат => Шрифт => Интервал*).

### **3.1.8. Перемещения иллюстраций и подрисуночных подписей**

Типичная трудная ситуация для неопытных оформителей курсовых работ начинается вместе с необходимостью помещения в текст рисунка – или его не сдвинуть с места, или он начинает «бегать» по странице по своему усмотрению.

Укрощение строптивых рисунков следует производить с помощью цепочки команд *Формат => Рисунок => Положение*. При этом открывается диалоговое окно *Формат рисунка* (рис. 3.9). Возможен вызов еще одного окна *Дополнительная разметка*. На этих окнах есть много командных кнопок, с помощью которых можно разместить рисунок в нужном месте страницы и организовать желаемую форму обтекания его текстом. Но множество кнопок приводит к трудности выбора нужных. Поэтому успех приходит только вместе с опытом. Еще одна трудность связана с тем, что он переходит на следующую страницу, если ему не хватает места на текущей. Здесь приходится варьировать размерами рисунка или размещать его в другом месте – выше или ниже. При этом может даже потребоваться перередактирование текста.

Подрисуночную подпись следует помещать в специально вставленную рамку «Надпись» и группировать с рисунком. Иначе эту пару не удержать вместе.

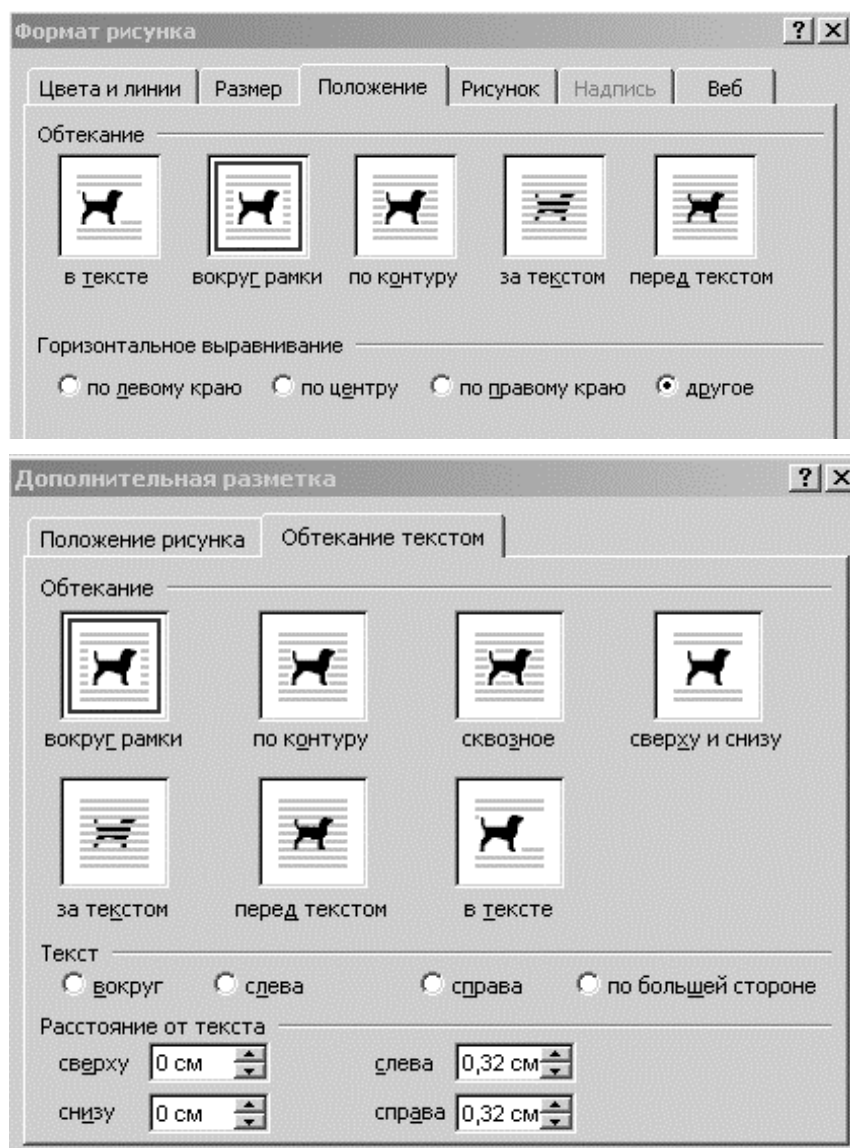


Рис. 3.9. Форматирование положения рисунка и обтекания его текстом

### 3.1.9. Ошибки при создании и форматировании списков

Если после выделения фрагмента текста, содержащего перечисление, нужно создать маркированный или нумерованный списки, то часто результат исполнения этих команд отличается от тех списков, которые уже содержатся в документе. Это в основном происходит потому, что в одном документе оказались присоединенными несколько других документов с разным форматированием (обычно созданных на разных компьютерах). Поэтому внешний вид списков внутри объединенного документа может отличаться отступами положения маркера, положения номера,

табуляции и положения текста (рис. 3.10–3.12).

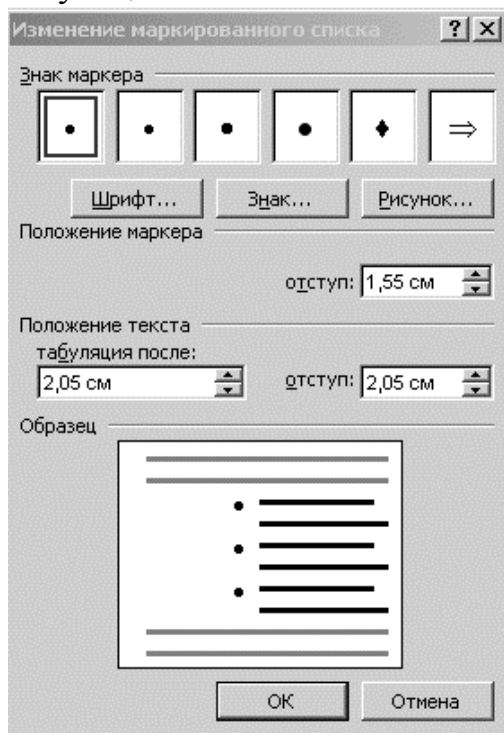


Рис. 3.10. Параметры  
Форматирования списков

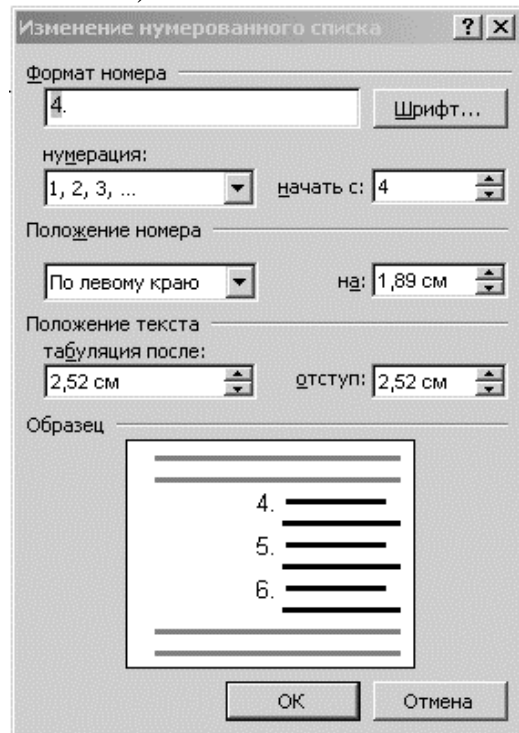


Рис. 3.12. Параметры форматирования  
нумерованных списков



Рис. 3.11. Создание нового списка  
или продолжение созданного ранее

Большие неприятности часто доставляет форматирование

нескольких списков, содержащихся в документе. Если форматирование списка осуществить с помощью кнопки *Нумерация* на панели инструментов и не обратить внимание на то, что в настройке заказан режим продолжения, то большинство или все ранее созданные списки будут перенумерованы.

Многие проблемы решает создание пользовательских стилей с уникальными именами. В этих случаях настройки списков можно сохранить одинаковыми для всего объединенного документа.

## 3.2. Полезные практические приемы

### 3.2.1. Создание вспомогательной панели инструментов

Приложение Word позволяет работать с документами только с помощью выпадающих списков *Главного меню* верхней панели. Там содержатся практически все команды, пиктограммы которых можно поместить на вспомогательных панелях *Стандартная* и *Форматирование*.

Ясно, что с этими панелями работать намного удобнее и быстрее, поскольку нужную командную кнопку отыскать на панели визуально значительно проще, чем просматривать выпадающие списки. Да и команды выполняются «в одно касание», и не требуется много раз «кликать» мышкой, чтобы добраться до нужной позиции. Поэтому вспомогательные панели помещаются на рабочее окно при инсталляции.

Но для конкретного вида создаваемого документа, в частности, для оформления курсовой работы, существует такой набор применяемых инструментов, не представленных в традиционных панелях, который должен формироваться на специальной настраиваемой дополнительной панели целевым назначением для данного документа.

На рис. 3.13 и в табл. 3.1 помещен общий вид дополнительной настраиваемой панели *Суперформатирование* и примерный набор командных кнопок, который с точки зрения автора может быть полезен при оформлении курсовой работы.



Рис. 3.13. Общий вид настраиваемой панели инструментов и рекомендуемый набор командных кнопок


Поскольку на рис. 3.13 панель представлена в мелком масштабе, в

табл. 3.1 укрупненно приведены пиктограммы командных кнопок с краткими подсказками их назначения.













Таблица 3.1



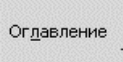
**Набор командных кнопок на панели инструментов**

| №  | Значки  | Подсказки  |
|----|---|--|
| 1  |    | Параметры страницы (меню «Файл»)<br>Настройка полей, источника бумаги, размера и ориентации листов, а также других параметров разметки для активного файла |
| 2  |    | Показать буфер обмена Office (меню «Правка»)<br>Просмотр содержимого буфера обмена Microsoft Office  |
| 3  |    | Заменить (меню «Правка»)<br>Поиск и замена заданного текста и форматирования   |
| 4  |    | Регистр (меню «Формат»)<br>Изменение регистра выделенного текста   |
| 5  |    | Выделить все<br>Выделение всего текста или всех графических объектов в активном окне или выделение текста в выбранном объекте                              |
| 6  |   | Подстрочный знак (меню «Формат»)<br>Преобразование выделенных знаков в нижние индексы  |
| 7  |  | Надстрочный знак (меню «Формат»)<br>Преобразование выделенных знаков в верхние индексы   |
| 8  |  | Изменить направление текста (меню «Формат»)<br>Расположение выделенного текста в надписи, ячейке или рамке горизонтально, слева направо                    |
| 9  |  | Файл (меню «Вставка»)<br>Вставка выбранного файла или его части в текущую позицию активного файла  |
| 10 |  | Рисунок – Из файла (меню «Вставка»)<br>Вставка рисунка из файла в текущую позицию активного документа  |
| 11 |  | Символ (меню «Вставка»)<br>Вставка символа или специального знака из установленных на компьютере шрифтов   |
| 12 |  | Редактор формул (меню «Вставка»)<br>Отображение панели редактора формул Microsoft Equation, позволяющего добавлять в текст документа формулы               |
| 13 |  | Добавить ячейки (меню «Таблица»)<br>Вставка ячеек, начиная с позиции курсора. При этом можно выбрать сдвиг остальных ячеек таблицы вправо или вниз. Кроме  |

|    |   |  |
|----|---|--|
|    |   | того, предусмотрена вставка целой строки или столбца   |
| 14 |  | Удалить ячейки (меню «Таблица»)<br>Удаление из таблицы выделенных ячеек или ячейки, в которой находится курсор |



| №  | Значки  | Подсказки  |
|----|---|--|
| 15 |    | Добавить строки (меню «Таблица»)<br>Вставка заданного числа ячеек, строк или столбцов. В Microsoft Word эта команда доступна только в том случае, если хотя бы один столбец выделен целиком                        |
| 16 |    | Удалить строки (меню «Таблица»)<br>Удаление из таблицы выделенных строк или строки, в которой находится курсор   |
| 17 |    | Добавить столбцы слева (меню «Таблица»)<br>Добавление столбца в таблицу слева от курсора. Если выделено несколько столбцов, в таблицу добавляется такое же количество столбцов слева от выделенного блока          |
| 18 |    | Удалить столбцы (меню «Таблица»)<br>Удаление из таблицы выделенных столбцов или столбца, в котором находится курсор  |
| 19 |    | Автосумма (меню «Таблица»)<br>Вставка поля, вычисляющего и отображающего сумму значений в ячейках таблицы, расположенных выше или левее ячейки, в которой находится курсор   |
| 20 |   | Сортировка по возрастанию (меню «Таблица»)<br>Сортировка выделенных элементов по возрастанию, начиная с первых букв алфавита, минимального числа или самой ранней даты в столбце, в котором находится курсор       |
| 21 |  | Объединить ячейки (меню «Таблица»)<br>Объединение содержимого выделенных соседних ячеек в одной ячейке   |
| 22 |  | Разбить ячейки / Отмена объединения ячеек (меню «Таблица»)<br>Разбиение выделенных ячеек на заданное число строк и столбцов  |
| 23 |  | Выровнять по верхнему краю (меню «Таблица»)<br>Выравнивание горизонтального текста по верхнему краю ячейки таблицы. Если в ячейке содержится несколько абзацев, выделите весь текст в ячейке                       |
| 24 |  | Центрировать по вертикали (меню «Таблица»)<br>Центрирование горизонтального текста между верхним и нижним краями ячейки. Если в ячейке содержится несколько абзацев, выделите весь текст в ячейке                  |
| 25 |  | Выровнять по нижнему краю (меню «Таблица»)<br>Выравнивание горизонтального текста по нижнему краю ячейки таблицы. Если в ячейке содержится несколько абзацев, выделите весь текст в ячейке                         |
| 26 |  | Выравнивание в ячейке (меню «Таблица»)<br>Выравнивание текста в выделенных ячейках по вертикали (по нижнему краю, по верхнему краю или по центру) и по горизонтали (по левому краю, по правому краю или по центру) |

| №  | Значки  | Подсказки   |
|----|---|---|
| 27 |  | Выровнять высоту строк (меню «Таблица»)<br>Установка одинаковой высоты для выделенных строк или ячеек       |
| 28 |  | Выровнять ширину столбцов (меню «Таблица»)<br>Установка одинаковой ширины для выделенных столбцов или ячеек |
| 29 |  | Оглавление (меню «Вставка»)<br>Вставка оглавления в позицию курсора   |

Настраиваемую панель можно создать следующим образом.

На верхней панели выбрать пункт *Вид*, а в появившемся списке выбрать пункт *Панели инструментов*, в следующем списке выбрать пункт *Настройка*. В диалоговом окне *Настройка* на вкладке *Панели инструментов* нажать командную кнопку *Создать*, при этом появится следующее диалоговое окно *Создание панели инструментов*, в текстовое поле которого следует ввести наименование создаваемой панели (рис. 3.14). После нажатия на кнопку *Ок* появится заготовка заказанной панели в виде маленького квадратика.

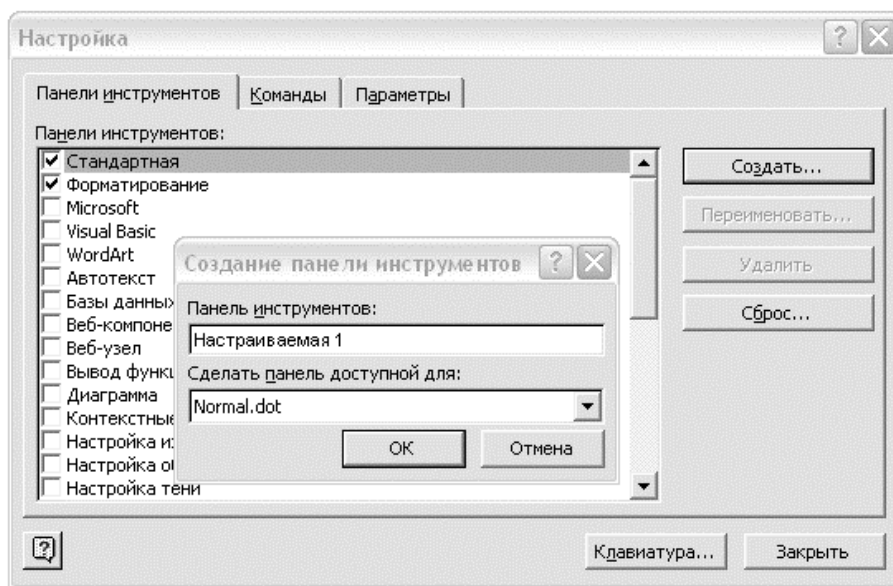


Рис. 3.14. Создание заготовки настраиваемой панели инструментов

Далее надо перейти на вкладку *Команды* (рис. 3.15) и для нужных категорий инструментов (левый список) при нажатой левой клавиши мыши из правого списка команд курсором перетащить пиктограмму

очередной команды на заготовку панели.

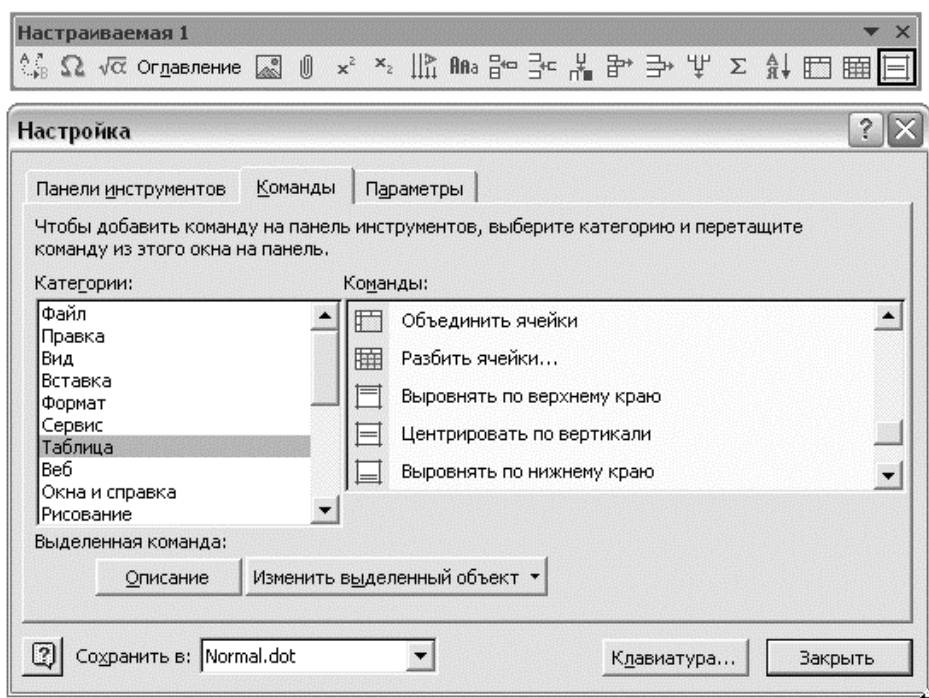


Рис. 3.15. Заполнение заготовки панели инструментов пиктограммами команд

### 3.2.2. Параметры страницы для курсовых работ

Диалоговое окно *Параметры страницы* предназначено для работы с многочисленными атрибутами, определяющими общий вид страниц всего документа или его разделов. К ним относятся: поля документа, размер бумаги, вертикальное выравнивание текста на странице, нумерация строк.

В курсовых работах параметры страницы обычно устанавливаются для всего документа. Размеры полей указаны в табл. 2.1 раздела 2 «Технические требования к оформлению курсовых работ».

Поля устанавливаются с помощью диалогового окна *Параметры страницы* (Файл => Параметры страницы).

### 3.2.3. Ориентация страниц для курсовых работ

В курсовых работах часто возникает необходимость изменять ориентацию страниц не для всего документа, а только для тех страниц, которые содержат широкие таблицы.

Для этого следует выполнить следующие действия:

- выделить текст, содержащий таблицы;
- вызвать диалоговое окно *Параметры страницы*;

– в поле *Применить* рамки *Образец* выбрать вариант списка *К выделенному тексту*;

– в рамке *Ориентация* выбрать вариант *Альбомная*.

При этом следует помнить, что при выборе варианта *До конца документа* (который появляется в поле списка *Применить* в том случае, если текст не выделялся) Word вставляет разрыв раздела в позицию курсора, а при выборе варианта *К выделенному тексту* разрывы вставляются в начало и конец выделенного фрагмента (рис. 3.16). Таким образом, можно разбить документ на разделы без вставки разрывов вручную.

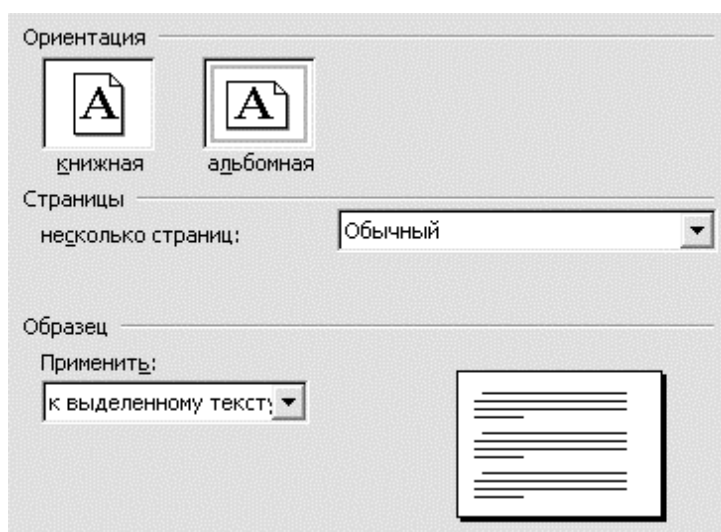


Рис. 3.16. Изменение ориентации страницы для выделенного текста, содержащего широкие таблицы

### 3.2.4. Нумерация страниц

Диалоговое окно *Номера страниц* служит для автоматической нумерации страниц в документе и настройки формата нумерации. Сами номера можно поместить в верхний или нижний колонтитулы, чтобы они отображались вверху или внизу страницы соответственно. Если в документе не было колонтитулов на момент открытия диалогового окна, Word создает простые колонтитулы, состоящие только из номеров страниц.

Для включения режима нумерации страниц в открытом документе выполните следующие действия.

Переключитесь в режим разметки страницы и выберите команду *Вставка => Номера страниц*, откроется диалоговое окно *Номера страниц*, показанное на рис. 3.17.

В списке *Положение* выберите вариант *Вверху страницы*, чтобы

разместить номер в верхней части страницы (в верхнем колонтитуле), или *Внизу страницы*, чтобы номер страницы располагался в нижнем колонтитуле.

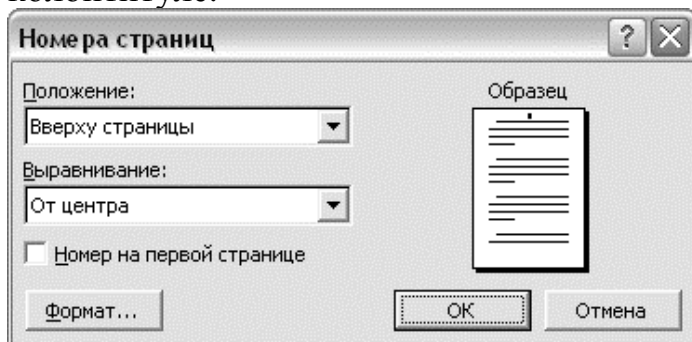


Рис. 3.17. Вставка номеров страниц

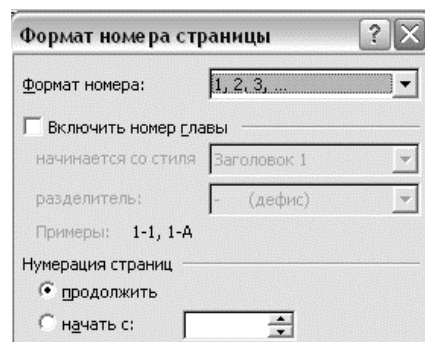


Рис. 3.18. Формат номера

Чтобы начать нумерацию страниц с 1, выберите вариант *Продолжить*. А если требуется начать нумерацию с определенного номера, установите переключатель в положение *Начать с* и введите нужный номер в текстовое поле.

Чтобы впоследствии изменить нумерацию страниц, можно заново открыть диалоговые окна *Номера страниц* или *Формат номера страницы* (рис. 3.18) и определить любой из параметров. Доступ к редактированию и удалению нумерации страниц предоставляет также команда *Колонтитулы* меню *Вид*.

Если документ разбит на несколько разделов, добавление номеров страниц с помощью команды *Вставка => Номера страниц* может стать поводом для удивления. Программа, выполняя эту команду, вставляет номера во все разделы документа, даже если они не были выделены. Есть исключение: если предварительно в разделе, следующем за текущим, был отключен параметр *Как в предыдущем*, нумерация прекращается на текущем разделе. Но (это как раз и вызывает недоумение) изменение состояния флажка *Номер на первой странице* или редактирование параметров в диалоговом окне *Формат номера страницы* влияет на нумерацию только внутри выделенных в данный момент разделов, даже если параметр *Как в предыдущем* был установлен для всех разделов, что предположительно должно делать все колонтитулы идентичными.

Чтобы изменить формат символов, использующихся для нумерации страниц, нужно отредактировать стиль *Номер страницы*, который программа автоматически применяет к номерам.

### 3.2.5. Стилиевое оформление курсовых работ

Стиль – это именованное описание формата абзаца или символов текста с помощью набора элементов форматирования. Вместо того чтобы вручную форматировать каждый абзац, можно задать стиль и настроить для него необходимые параметры. Затем таким стилем можно оформить любой блок текста, в результате параметры стиля будут перенесены на конкретный фрагмент документа.

Любому символу текста всегда присущи два стиля: абзацный и символьный. По умолчанию Word присваивает тексту абзацный стиль *Обычный* (Normal) и символьный стиль *Основной текст* (Default Paragraph Font).

Стиль *Обычный* имеет следующие значения элементов форматирования.

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| – Тип шрифта             | Times New Roman        |
| – Размер шрифта (высота) | 14 пунктов             |
| – Выравнивание           | По ширине              |
| – Междустрочный интервал | Одинарный              |
| – Запрет висячих строк   | Да (флажок установлен) |

После присвоения абзацу стиля *Обычный* текст приобретает все перечисленные свойства.

Преимущества стилевого форматирования:

– Стилевое форматирование экономит время. Присвоить абзацу (абзацам) определенный стиль быстрее, чем присваивать значения элементов форматирования этого стиля последовательно.

– Стилевое форматирование способствует приданию соответствующего стиля документу в целом. Например, добиться единообразия для заголовков первого уровня в документе можно присвоением им всем стиля *Заголовок 1*. Гораздо сложнее не ошибиться, выбирая для каждого такого заголовка тип и размер шрифта, вид выравнивания и т. д. при непосредственном форматировании.

– Стилевое форматирование позволяет при необходимости быстро изменить вид отдельных элементов во всем документе. Например, требуется изменить тип шрифта в заголовках верхнего уровня. При ручном форматировании в этом случае необходимо последовательно находить все такие заголовки, выделять их и выполнять замену шрифта с помощью диалогового окна *Шрифт* или раскрывающегося списка в панели инструментов *Форматирование*. При стилевом форматировании достаточно внести соответствующие изменения в стиль *Заголовок 1*.

Многообразие стилей в Word может быть сведено к четырем основным видам.

**Стили символов.** Символьные стили содержат один или несколько элементов форматирования и могут быть применены к любому фрагменту текста. В отличие от стилей абзацев символьные стили не требуют полного определения всех элементов форматирования для символа. Например, некий символьный стиль может содержать только вид начертания символа – наклонный и полужирный. Если применить такой стиль к блоку текста, будут сняты все другие элементы форматирования, примененные непосредственно, а все символы станут наклонными и полужирными. Элементы символьного форматирования, являющиеся частью стиля абзаца (например, тип и размер шрифта), будут сохранены.

**Стили абзацев.** Для этих стилей характерно объединение элементов форматирования символов и абзацев. Стили абзацев содержат полный набор элементов форматирования, определяющих вид абзаца, и все эти элементы должны быть определены при создании нового стиля. Каждый абзац в документе Word имеет определенный стиль. В новом документе абзацы, как правило, имеют стиль *Обычный* до момента, пока пользователь не изменит стиль. В некоторых случаях для текста документа может быть применен стиль *Основной текст*. К одному и тому же тексту может быть применен стиль абзаца, стиль символов и ручное форматирование, которые задают разные значения для некоторого элемента форматирования. В этом случае ручное форматирование имеет преимущество перед символьным, а стиль символов имеет преимущество перед стилем абзаца. Если символьный стиль содержит элемент форматирования, который является частью стиля абзаца, его применение к символу может привести к отмене этого вида форматирования. Так может произойти с некоторыми необязательными элементами форматирования (полужирное и наклонное начертание, все прописные и т. п.). Например, если символьный стиль, придающий символу наклонное начертание, применяется к тексту внутри абзаца, стиль которого содержит наклонное начертание, этот текст перестанет быть наклонным. Это вполне согласуется с методами выделения при обычном письме. Лучший способ выделить слово в тексте, все символы которого имеют наклон, – записать это слово без наклона.

**Стили таблиц.** Табличные стили включают в себя набор элементов форматирования, необходимых для формирования специфических свойств таблицы. Путем применения одного из табличных стилей к имеющейся таблице Word ее вид может быть изменен полностью.

**Стили списков.** Стиль списка содержит набор элементов форматирования для создания некоторых специфических списков (например, многоуровневые нумерованные или маркированные списки).

**3.2.5.1. Рекомендуемые стили.** Для выполнения курсовой работы не нужно создавать много стилей (также как нельзя работать с единственным стилем). Из многолетней практики приема курсовых работ можно рекомендовать создать для использования стили, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Перечень и характеристика стилей,  
рекомендуемых для оформления курсовых работ**

| Имя стиля             | Образец                    | Характеристика |      |    |    |   |    |    |
|-----------------------|----------------------------|----------------|------|----|----|---|----|----|
|                       |                            | 1              | 2    | 3  | 4  | 5 | 6  | 7  |
| Обычный               | Обычный                    | 14             | 1,25 | 0  | 0  | Ш | О  | Н  |
| Основной текст        | Основной текст             | 14             | 0    | 0  | 0  | Ш | О  | Н  |
| Заголовок 1           | <b>ЗАГОЛОВОК 1</b>         | 14             | 0    | 14 | 14 | Ц | ПЖ | ПР |
| Заголовок 2           | <b>Заголовок 2</b>         | 14             | 0    | 14 | 14 | Ц | ПЖ | Н  |
| Заголовок 3           | <b>Заголовок 3</b>         | 14             | 0    | 14 | 14 | Ц | ПЖ | Н  |
| Заголовок 4           | <b>Заголовок 4</b>         | 14             | 0    | 0  | 0  | Л | ПЖ | Н  |
| Заголовок таблицы     | <b>Заголовок таблицы</b>   | 12             | 0    | 12 | 6  | Л | ПЖ | Н  |
| Текст в таблице       | Текст в таблице            | 12             | 0    | 0  | 0  | Ц | О  | Н  |
| Шаблон формул         | Формула                    | 14             | 0    | 6  | 6  | Ц | О  | Н  |
| Номер формулы         | (47)                       | 14             | 0    | 0  | 3  | П | О  | Н  |
| Оглавление 1          | <b>ОГЛАВЛЕНИЕ 1</b>        | 12             | 0,53 | 6  | 6  | Л | О  | ПР |
| Оглавление 2          | <b>Оглавление 2</b>        | 10             | 0,95 | 0  | 0  | Л | О  | Н  |
| Оглавление 3          | <b>Оглавление 3</b>        | 10             | 1,38 | 0  | 0  | Л | О  | Н  |
| Оглавление 4          | Оглавление 4               | 10             | 1,90 | 0  | 0  | Л | О  | Н  |
| Перечень              | • строка 1;<br>• строка 2  | 14             | 0,8  | 0  | 0  | Л | О  | Н  |
| Ряд                   | 1. строка 1<br>2. строка 2 | 14             | 1,0  | 0  | 0  | Л | О  | Н  |
| Рисунок               | Рисунок                    | 14             | 0    | 12 | 0  | Ц | О  | Н  |
| Подрисуночная подпись | Подпись                    | 12             | 0    | 6  | 14 | Л | О  | Н  |
| Подписи на рисунках   | Подпись                    | 14             | 0    | 0  | 0  | Л | О  | Н  |

*Условные обозначения:* 1 – кегль (размер шрифта); 2 – отступ; 3 – интервал перед; 4 – интервал после; 5 – выравнивание (Ш – по ширине; Л – по левому краю; П – по правому краю; Ц – по центру); 6 – начертание (О – обычный; ПЖ – полужирный; К – курсив); 7 – видоизменение (Н – нет; ПР – все прописные).

Некоторые позиции табл. 3.2 целесообразно кратко прокоммен-



тировать.

**Обычный.** Отличительная особенность стиля *Обычный* – отступ в начале абзаца после нажатия клавиши Enter («красная строка»). Вот этот отступ на первой строке и создает много сложностей, если этот стиль присваивать всем элементам документа, перечисленным ниже стиля *Основной текст*. Например, если вставить *Надпись*, а в нее поместить комментарий к рисунку и пометить этот текст стилем *Обычный*, то автоматически отступ вставится в начало текста, который переместится за границы рамки и перестанет быть видимым. По этой причине при создании стиля не рекомендуется ставить флажок в поле *Обновлять автоматически* диалогового окна *Создание стиля*.

**Основной текст.** Отличается от стиля *Обычный* тем, что не имеет отступа первой строки. Поэтому он позволяет менять начертания шрифтов внутри абзаца, не опасаясь произвольно изменить все его форматирование.

**Заголовок 1.** Для заголовков всех разделов можно порекомендовать использовать гарнитуру одного шрифта Times New Roman. Заголовок 1 верхнего уровня имеет тот же размер символов, что и основной текст, только все буквы прописные и выделены полужирным. Заголовки первого, второго и третьего уровней выравниваются по центру строки. Для выполнения требований отбивки заголовков сверху и снизу в рамке *Интервал* диалогового окна *Форматирование абзаца* в текстовые поля *Перед* и *После* нужно ввести соответствующие значения интервалов от текста до заголовка и от заголовка до текста.

**Заголовки 2 и 3.** Заголовки второго и третьего уровней имеют одинаковые размеры шрифта, выделены полужирным и помещены в центр строки.

**Заголовок 4.** Отличается от форматирования заголовков второго и третьего уровней выравниванием по левому краю и отсутствием отбивки сверху и снизу.

**Заголовок таблицы.** Заголовки таблиц выравниваются по левому краю, выделяются полужирным и кегль (размер шрифта) изменяется с 14 до 12 пт. Отбивка от текста до заголовка 12 пт, а от заголовка до текста – 6 пт.

**Текст в таблице.** Для сохранения единообразия текст во всех таблицах выделять и помечать указанным стилем (12 пт, без отступа, без интервалов сверху и снизу, выравнивание по центру), стараясь избежать вклинивания в таблицу фрагментов текста в

стиле *Обычный*.

**Шаблон формул.** Как будет показано ниже, для вставки формул целесообразно применять специальный шаблон в виде таблицы из двух столбцов и одной строки с автоподбором по ширине окна. В первую ячейку вместо заготовки текста вставляется формула в позицию курсора, который выровнен по центру ячейки. Поскольку формула вставляется вместо текста, то можно предусмотреть необходимые расстояния сверху и снизу формулы (интервалы *Перед* и *После* диалогового окна *Форматирование абзаца*).

**Номер формулы.** Номер формулы вставляется в правую ячейку шаблона формул и выравнивается по правому краю.

**Оглавление 1.** Оглавление верхнего уровня (Основной текст) выполняется прописными буквами размером 12 пт шрифта Times New Roman.

**Оглавление 2.** Оглавление второго уровня выполняется строчными буквами размером 12 пт шрифта Times New Roman.

**Оглавления 3 и 4.** Оглавления низких уровней выполняются строчными буквами размером 10 пт шрифта Times New Roman. Они отличаются только величиной отступа.

**Перечень.** Маркированный список. Первая строка 0,3 см, отступ маркера 0,5 см, позиция табуляции 0,8 см, отступ текста 0,8 см.

**Ряд.** Нумерованный список. Первая строка 0,3 см, отступ маркера 0,5 см, позиция табуляции 1 см, отступ текста 1 см.

**Рисунок.** Как будет показано ниже, рисунок и подрисуночную подпись целесообразно вставлять в ячейки специально заготовленной таблицы с одним столбцом и двумя строками. Несмотря на то, что в таблицу обычно вставляется только текст, в данном случае форматирование можно подготовить как для текста, а вставить рисунок. Подготовка будет заключаться в выравнивании по центру и установки интервала сверху от рисунка на 12 пт.

**Подрисуночная подпись.** Текст подрисуночной подписи вставляется в нижнюю ячейку таблицы, подготовленной для рисунка и подрисуночной подписи. Выравнивание по левому краю, размер шрифта 12 пт, интервал сверху 6 пт, снизу 12 пт.

**Подписи на рисунках.** Чтобы вставить подпись на самом рисунке, нужно заготовить поле для текста (*Вставка => Надпись*). Дело в том, что реализация этой последовательности команд автоматически форматирует вставляемый текст в стиле *Обычный*, т. е. с отступом на первой строке, что часто мешает работе. Чтобы этого не было, необходимо создать специальный стиль *Подпись на*

*рисунках*, где установить выравнивание по левому краю, без отступов и интервалов.

**3.2.5.2. Создание стилей.** Для создания стиля в *Области задач Стили и форматирование* нужно вызвать диалоговое окно *Создание стиля* (рис. 3.20) нажатием командной кнопки *Создать* (рис. 3.19). Создавая новый стиль, нужно ему присвоить имя. Имя должно быть уникальным, по которому можно определить его целевое назначение. Здесь уместно напомнить о том, что имя стиля будет отражать культуру автора. В выпадающем списке *Стиль*, где имеется возможность создать стиль абзаца, символа или таблицы, следует выбрать вариант *Абзаца*. Из большого списка свойств *Основан на стиле* следует выбрать вариант *Обычный* (рекомендуется). В текстовом поле *Стиль следующего абзаца* рекомендуется выбрать вариант *Обычный*, иначе будет сложнее выйти из режима присвоения стиля любому фрагменту текста. Несмотря на возможность выбора шрифта из большого числа вариантов, для оформления всей курсовой работы лучше использовать гарнитуру одного вида шрифта Times New Roman. Если поставить флажок *Обновлять автоматически*, то, с одной стороны, это хорошо, поскольку позволит изменить начертание текста, которому присвоен этот стиль, сразу во всем документе, а с другой стороны, потребует большого внимания при присвоении соответствующего стиля.

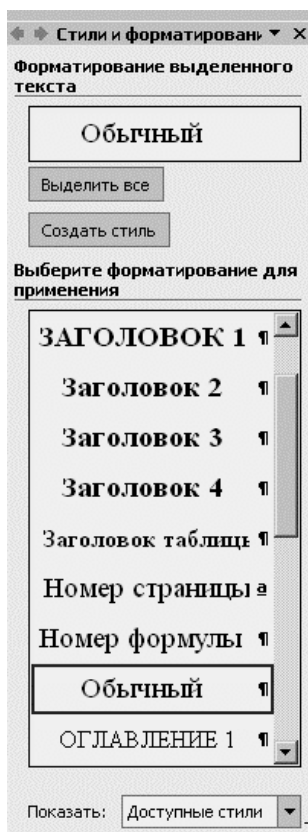


Рис. 3.19. Вызов диалогового окна *Создание стиля*

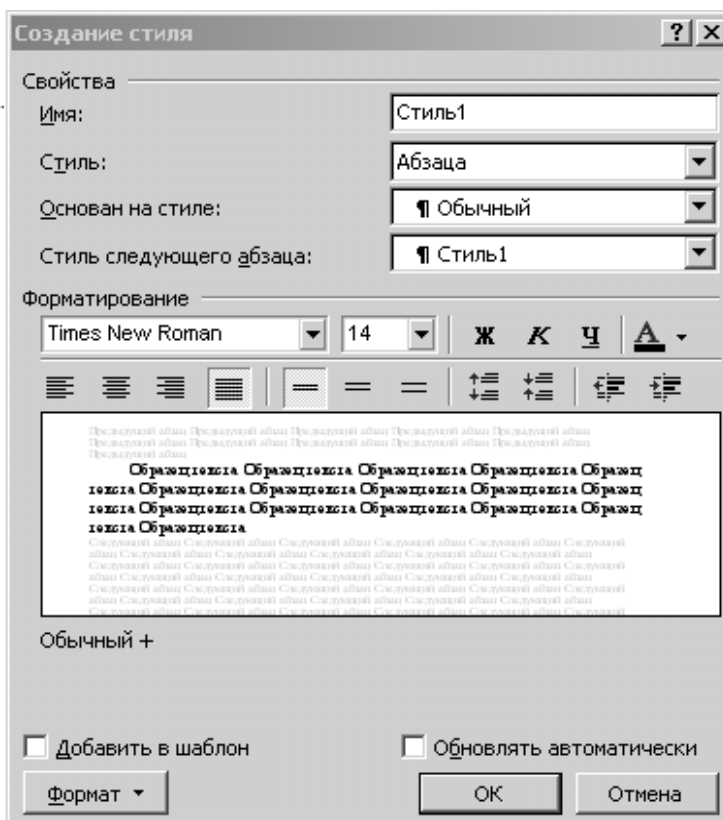


Рис. 3.20. Выбор главных параметров (отличительных признаков) создаваемого стиля

Заканчивают процедуру создания стиля форматированием шрифта (рис. 3.21) и абзаца (рис. 3.22). Об этом подробнее см. подраздел 3.2.7 «Шрифтовое оформление курсовых работ».

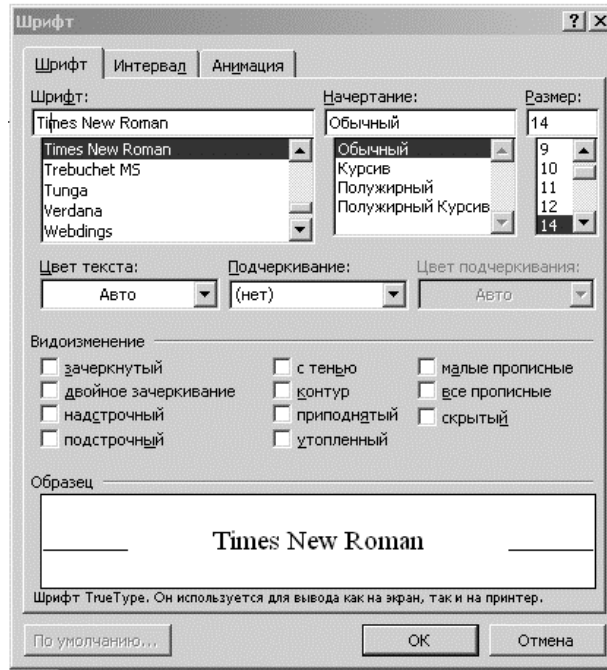


Рис. 3.21. Форматирование символа

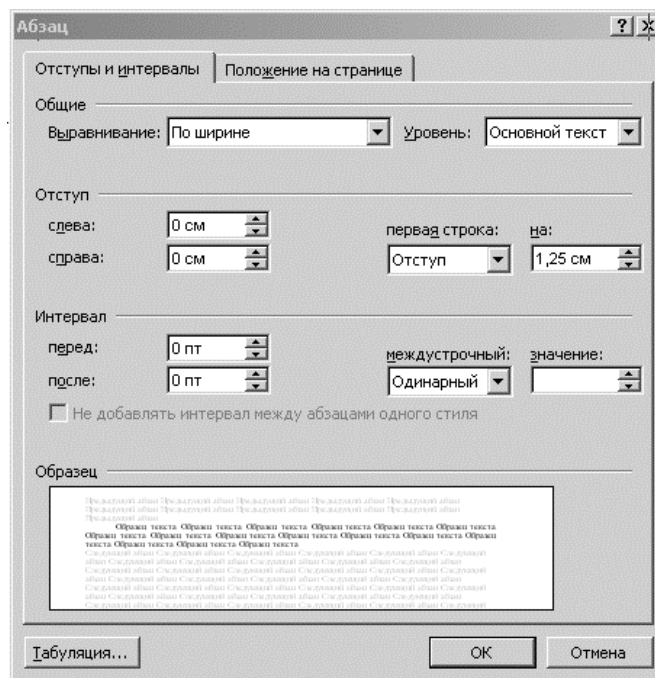


Рис. 3.22. Форматирование абзаца

В списке стилей *Области задач* на рис. 3.23 показаны стили *Доступное*, хотя в текстовом поле *Показать* можно видеть элемент списка *Специальное* (это сделано для того, чтобы выбрать из списка *Показать* вариант *Специальное*, и в этом случае появится диалоговое

окно *Настройка формата*, изображенное на рис. 3.24). Как можно судить по положению бегунка на вертикальной прокрутке, список доступных стилей весьма большой, и работать с ним очень сложно. Чтобы уменьшить список *Области задач*, выберите *Форматирование для применения*, в окне *Настройка формата* сбросьте флажки *Шрифты*, *Абзацы*, *Списки*, оставив те флажки в группе *Отображаемые стили*, которые вы создали для оперативной работы с данным документом (рис. 3.25).

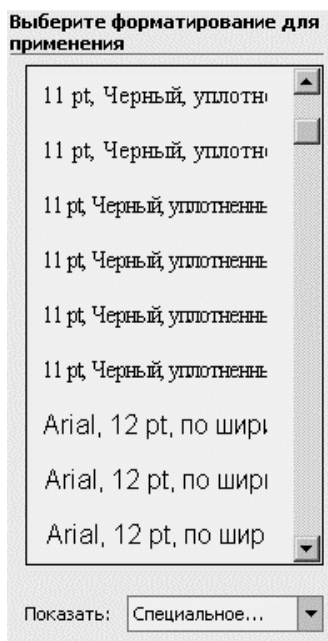


Рис. 3.23. Список доступных стилей

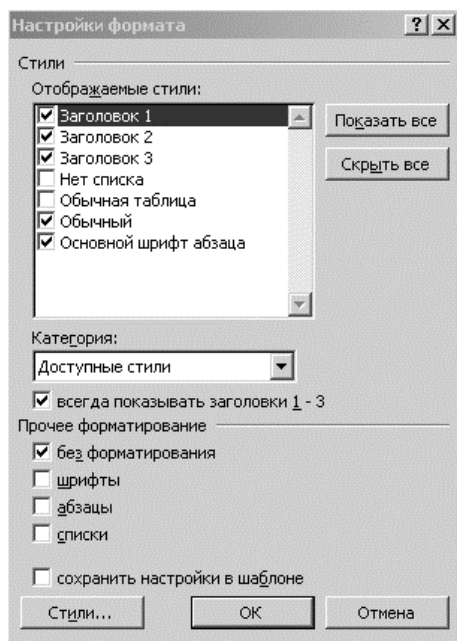


Рис. 3.24. Настройка отображаемых стилей

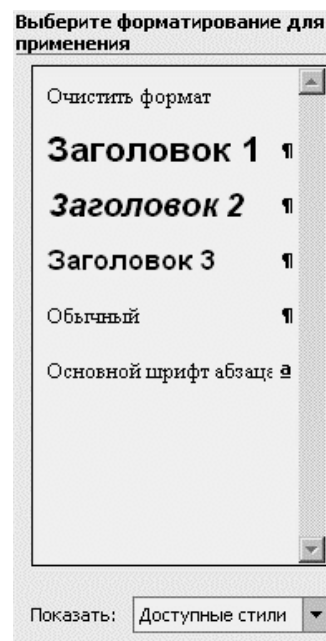


Рис. 3.25. Список используемых стилей

### 3.2.6. Шаблоны курсовых работ

Каждый документ Word основан на каком-нибудь шаблоне. Если документ создается с помощью команды *Файл => Создать*, пользователь имеет возможность выбрать шаблон для создаваемого документа. При нажатии кнопки *Создать* на панели инструментов *Стандартная* новый документ создается на основе шаблона *Normal.dot*.

Шаблон, на основе которого создан документ, называется также шаблоном, приложенным к документу, или шаблоном документа.

Шаблоны можно рассматривать как обычные документы, в которых кроме текста и списка стилей хранится информация о конфигурации панелей инструментов, макросы и параметры, определяющие вид документа и поведение программы. Шаблоны

очень удобны, когда ряд документов требуется оформить в одинаковом стиле. Однажды настроив шаблон, на его основе вы можете создать сколько угодно файлов, которые наследуют имеющиеся в шаблоне текст и объекты, стили и оформление, макросы и параметры интерфейса Word.

Таким образом, можно (и нужно!) создать шаблон «Курсовая работа», в котором фиксируются все стили и настройки, относящиеся к этому документу. Шаблон документа может быть изменен уже после создания самого документа.

Word копирует изменения стиля из документа в шаблон, и наоборот, если установлен флажок *Добавить в шаблон* в диалоговом окне *Изменение стиля* или флажок *Автоматически обновлять стили* в диалоговом окне *Шаблоны и надстройки* (*Сервис => Шаблоны и надстройки*).

Процедура создания шаблона аналогична процедуре создания нового документа. Для создания нового шаблона нужно выполнить следующие действия.

Выбрать команду *Файл => Создать*. В области задач *Создание документа* выбрать команду *Общие* в разделе *Создание с помощью шаблона*. В диалоговом окне *Шаблоны* (рис. 3.26) установить переключатель *Шаблон* в разделе *Создать*.

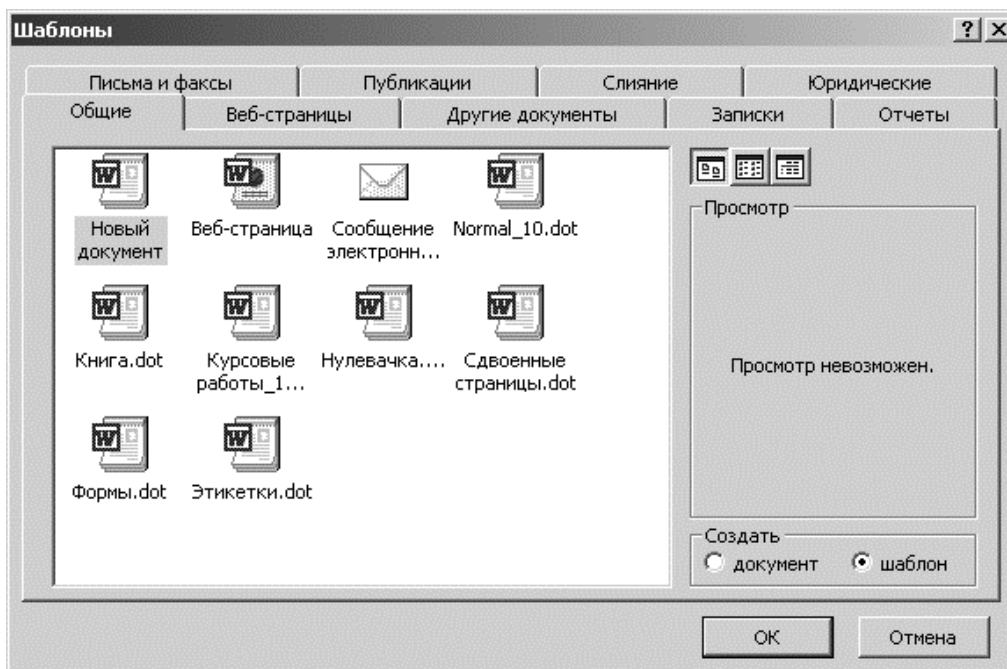


Рис. 3.26. Создание нового шаблона

В диалоговом окне *Шаблоны* выбрать один из существующих шаблонов в качестве основы для создания нового и нажать кнопку *Ok*. Отформатировать шаблон теми же методами, что и при создании документа. Выбрать команду *Файл => Сохранить* или нажать кнопку *Сохранить* на панели инструментов *Стандартная*.

Когда шаблон сохраняется в первый раз, Word открывает диалоговое окно *Сохранение документа* и автоматически предлагает для сохранения шаблона текущую папку *Шаблоны*. Можно создать другую папку, например *Мои шаблоны*.

Один из способов изменения шаблона документа состоит в открытии файла шаблона и его редактировании точно так же, как производится редактирование документа.

### **3.2.7. Шрифтовое оформление курсовых работ**

Пользоваться начертаниями шрифтов следует с умом. Принято считать, что текст, набранный полужирным, сразу бросается в глаза, поэтому есть смысл набирать им заголовки разделов. Курсив, который смотрится легче, можно использовать там, где необходимо отделить части текста, не слишком привлекая внимание. Инверсный текст применяется для создания специальных эффектов. Инверсный текст заголовков на темном фоне может смотреться прекрасно и быть уместным не только на рекламных плакатах, но и в деловых документах.

Подчеркивания как метода выделения лучше избегать. Выделение подчеркиванием – дань воспоминанию об эпохе механических пишущих машинок. Текстовыделителей тогда не было, и единственным способом привлечь внимание к тексту было подчеркивание. Теперь в наших руках есть мощный набор инструментов выделения. От элегантных, как курсив и легкая разрядка (увеличенный межбуквенный пробел), до таких мощных, как увеличение размера и жирности, инверсное начертание или переход к более выразительной гарнитуре. Такие методы выглядят намного профессиональнее.

Иногда хорошим методом выделения является набор прописными буквами или капителью (малыми прописными). Такое форматирование называется установкой регистра текста и показано на рис. 3.27. Две следующих строчки – примеры выделения фразы «Альтернативные выделения» капителью и прописными символами.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ.

Капитель – изящный, «пижонский» прием. Пользоваться им



нужно умеренно.

Выделять текст можно также путем регулировки ширины символов (изменение масштаба). Командная цепочка для этой операции выглядит следующим образом: *Формат => Шрифт => Интервал => Масштаб*. Выделение слова «студент» путем увеличения масштаба до 150% выглядит так: **студент**.

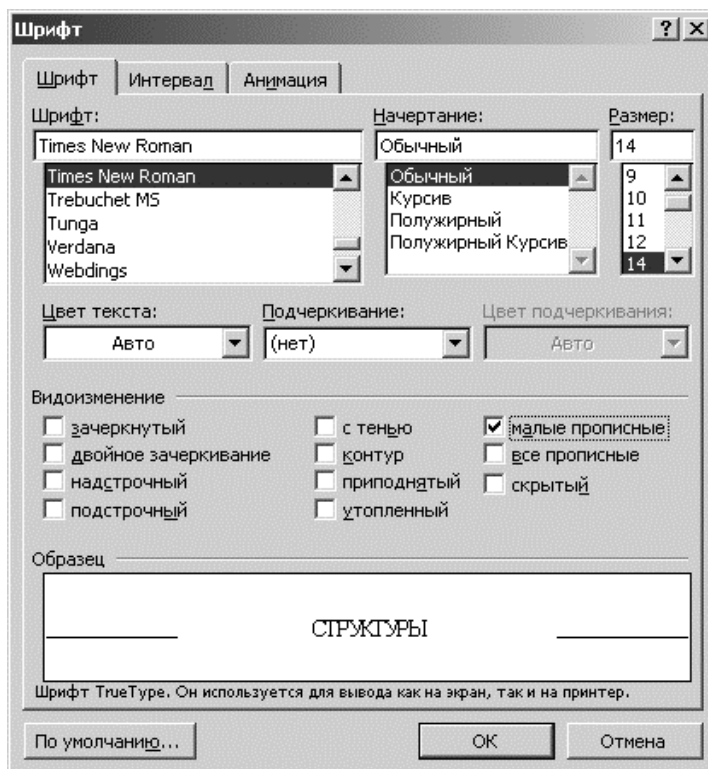



Рис. 3.27. Выделение текста капителью (малыми прописными буквами)

Форматирование символов можно производить в любом фрагменте текста, задавая атрибуты в соответствующих диалоговых окнах.

Но быстрее и удобнее определить их в качестве стиля абзаца.

### 3.2.8. Стили заголовков разделов

На разделы документ разбивается командой *Вставка => Разрыв по месту положения курсора*. В этом случае каждому разделу можно назначить отдельный набор атрибутов форматирования. При этом в диалоговом окне *Разрыв* можно выбрать начало раздела с новой страницы, с новой колонки или с новой строки. В документ вставляется маркер разрыва раздела , который отображается на экране в режиме разметки, когда включен показ всех знаков. Для этого щелкните на

кнопке *Непечатаемые знаки* стандартной панели инструментов. В режиме предварительного просмотра разрывы разделов не отображаются. Чтобы удалить разрыв раздела, выделите маркер разрыва и нажмите кнопку *Delete*. Разделы, расположенные над разрывом и под ним, сливаются в один. Новый объединенный раздел наследует атрибуты (нумерацию, поля и т. д.) второго раздела, а все атрибуты первого раздела пропадают. Фактически в маркере разрыва хранятся сведения об атрибутах раздела, расположенного перед ним, поэтому при удалении маркера исчезают и все характеристики предшествующего ему раздела.



Рис. 3.28. Формат шрифта Заголовка 1



Рис. 3.29. Формат шрифта Заголовка 2

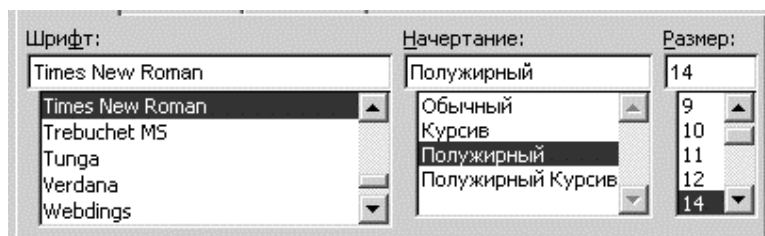


Рис. 3.30. Атрибуты шрифта заголовков

Стилевое оформление заголовков (рис. 3.28–3.30) разделов было рассмотрено в п. 3.2.5.1. «Рекомендуемые стили».

### 3.2.9. Создание стиля заголовков таблиц

Текст заголовков таблиц обычно не должен превышать ширину таблицы. Чтобы обеспечить это требование, выделите заголовок таблицы и перетащите соответствующие маркеры на горизонтальной линейке в границы ширины таблицы. На рис. 3.31 изображены маркеры для настройки левого и правого полей страницы в режиме разметки. При настройке левого или правого поля убедитесь, что курсор имеет вид двунаправленной стрелки и, если включен режим отображения всплывающих подсказок, появилась подсказка с надписью *Левое поле* или *Правое поле*.

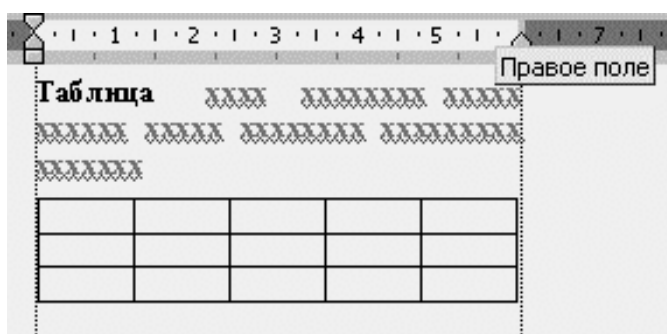


Рис. 3.31. Выравнивание заголовка по ширине таблицы

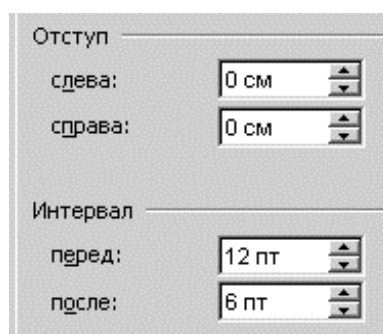


Рис. 3.32. Настройка отбивки заголовка сверху и снизу

Чтобы выполнить требования по отбивке заголовка сверху и снизу, нужно выделить заголовок и настроить интервалы (рис. 3.32) командой *Формат => Абзац => Отступы и интервалы*. Заголовки выделяются полужирным шрифтом с размером кегля 12 пт командой *Формат => Шрифт*. Выполненные настройки нужно сохранить в стиле *Заголовок таблицы*.

### 4.2.10. Сетка таблиц для курсовых работ

Если при определении структуры таблицы точное число строк не известно, что часто бывает на практике, можно задать заведомо меньшее число строк. Дело в том, что добавление пустой строки в конец таблицы является простейшей операцией. Для этого достаточно установить курсор в правую нижнюю ячейку и нажать клавишу *Tab*. Со столбцами лучше определиться заранее, так как операция вставки столбца хотя и возможна, но не так проста.

Если таблица была вставлена в самое начало документа, то установить курсор перед таблицей для ввода текста не удастся. Для

решения этой проблемы установите курсор в любом месте первой строки и нажмите сочетание клавиш *Ctrl + Shift + Enter*. В результате будет создан новый абзац выше таблицы. Теперь туда можно переместить курсор и ввести текст.

Для быстрого изменения ширины ячеек можно воспользоваться командой *Автоподбор*. Эта команда изменяет ширину всех столбцов таблицы так, чтобы она соответствовала содержимому ячеек или ширине окна Word. Кроме того, ширина столбцов будет динамически поддерживаться при изменении содержимого ячеек или ширины окна.

Для вызова команды *Автоподбор* нужно установить курсор в любом месте внутри таблицы и выбрать команду *Таблица => Автоподбор*.

В режиме разметки документа можно быстро перемещать таблицу по документу или менять ее размер. Для этого переместите указатель мыши в пределы таблицы и дождитесь появления маркера перемещения над левым верхним углом таблицы и маркера изменения размера под ее правым нижним углом. При перетаскивании маркера перемещения изменяется место размещения таблицы в документе. При изменении размера таблицы изменяются размеры всех ее ячеек.

Чтобы изменить ориентацию текста в ячейках, выделите их, сделайте щелчок правой кнопкой мыши и выберите команду *Направление текста* в открывшемся контекстном меню (рис. 3.33). Для изменения ориентации текста в одной ячейке выделять ее необязательно, достаточно просто установить в нее курсор и сделать щелчок правой кнопкой мыши. После выбора команды откроется диалоговое окно *Направление текста – Ячейка таблицы*. В этом диалоговом окне нужную ориентацию текста можно выбрать простым щелчком мыши на соответствующем шаблоне в разделе *Ориентация*. Для закрытия диалогового окна нажмите кнопку *Ok*. Для изменения типа выравнивания текста в нескольких ячейках выделите их и поступайте так же, но в контекстном меню после щелчка правой кнопкой мыши выберите команду *Выравнивание*, а затем из подменю выберите подходящий тип выравнивания (рис. 3.34). Обратите внимание, что в подменю команды *Выравнивание* предлагаются варианты выравнивания текста как по вертикали, так и по горизонтали.



Рис. 3.33. Выбор направления текста

Рассмотренные в этом разделе приемы перетаскивания действуют только при установленном флажке *Использовать перетаскивание текста* на вкладке *Правка* диалогового окна *Параметры*. Для открытия этого диалогового окна нужно выбрать команду *Сервис => Параметры*.

Для перемещения содержимого ячеек (ячейки) внутри таблицы выделите их, включая маркер конца ячейки, и перетащите в нужное место. При этом ячейки, в которых находился текст, станут пустыми, а содержимое в новых ячейках будет заменено. Копирование содержимого ячеек методом перетаскивания производится при нажатой клавише *Ctrl*, точно так же, как и копирование строк или столбцов. При копировании или перемещении содержимого ячеек нельзя выделять столбцы целиком, иначе соответствующая операция будет выполнена со столбцом. То же самое относится и к строкам: здесь надо следить, чтобы в выделение не попал маркер конца строки.

Возможно перемещение и копирование содержимого ячеек без удаления содержимого тех ячеек, куда текст будет перемещен. Для этого при выделении текста исходных ячеек не следует включать в выделение маркер конца ячейки.

### 3.2.11. Способ размещения рисунков и подрисуночных подписей

Как уже указывалось выше, если не сгруппировать рисунки и подрисуночные подписи, то они порознь могут «бегать» по странице на разных этапах ее редактирования. Лучше всего их состыковать в одной таблице, у которой один столбец и две строки, т. е. две ячейки, расположенные друг под другом. Верхняя ячейка предназначена для помещения рисунка, нижняя – для подрисуночной подписи.

Поскольку нужно, чтобы рисунок располагался на определенном расстоянии от текста (верхняя отбивка) и чтобы подрисуночная подпись отстояла на 6 пт от рисунка и на 12 пт от

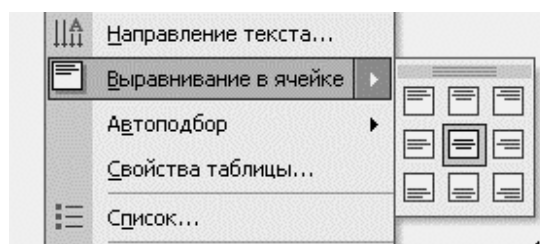


Рис. 3.34. Выравнивание текста по вертикали

нижележащего текста, то необходимо осуществить стилевое оформление абзаца внутри таблицы.

Для изготовления шаблона таблицы необходимо совершить несколько подготовительных операций.

Во-первых, в свойства таблицы нужно заложить нефиксированные размеры строк и столбцов. Если в диалоговом окне *Свойства таблицы* => *Размеры строк* сначала поставить флажок на поле *Высота*, установить нулевой размер ячейки, в текстовом поле *Режим* установить вариант списка *Минимум*, снять флажок, а затем его вновь поставить (рис. 3.35), и точно также и с размером столбцов: при включенном флажке обнулить размер, снять флажок, и при этом режиме вновь его поставить (рис. 3.36), то в этих случаях при изменении размеров рисунка или подрисуночной подписи размеры ячеек будут автоматически подстраиваться под размеры содержимого.

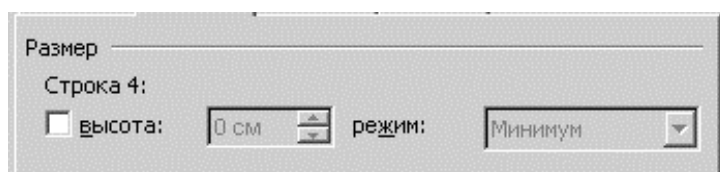


Рис. 3.35. Размер строки

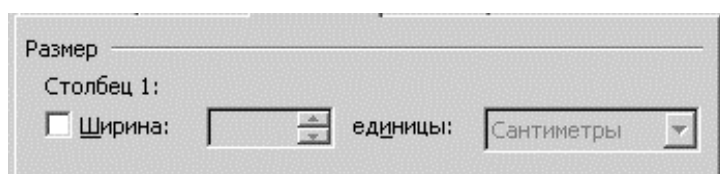


Рис. 3.36. Размер столбца

Во-вторых, способом форматирования абзаца следует назначить интервал между содержимым ячеек (рис. 3.37). Подумайте, сколько бы времени ушло на такое изменение оформления стандартными средствами, если бы потребовалось размещать отдельно каждый рисунок и подрисуночную подпись, разбросанные по многостраничному документу. Подготовив специальные стили для рисунков и подрисуночных подписей, вы сможете настраивать формат всех подписей с помощью простой корректировки соответствующего стиля. С помощью стилей можно выполнить любое форматирование текста. При отсутствии

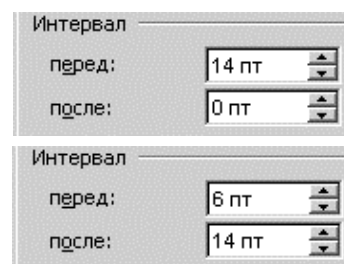


Рис. 3.37. Отбивка рисунка и подрисуночной подписи

достаточного опыта такой подход потребует дополнительных затрат времени, но, научившись изменять оформление документов изменением стилей, можно сэкономить многие часы.

### 3.2.12. Надписи на рисунках

Чтобы избежать самопроизвольного «разгуливания» надписей на рисунках, прежде всего нужно создать специальный стиль *Надписи на рисунках*, где настроить вид и размер шрифта и, самое главное, выравнивание по левому краю. Ясно, что размещать подписи надо в рамке (*Вставка* => *Надпись* или кнопка *Надпись* на панели рисования). Рисунок и подписи на нем надо обязательно сгруппировать. При нажатой кнопке *Выбор объектов* на панели рисования курсором нужно выделить область рисунка и надписей на нем, а затем на панели рисования в меню *Действия* нужно выбрать элемент списка *Группировать*.

### 3.2.13. Способ размещения математических формул

Ввод математических формул в текст курсовой работы будем осуществлять с помощью редакторов формул Equation EQNEDT32 и MathType 5.2a, рабочие интерфейсы которых приведены на рис. 3.38.

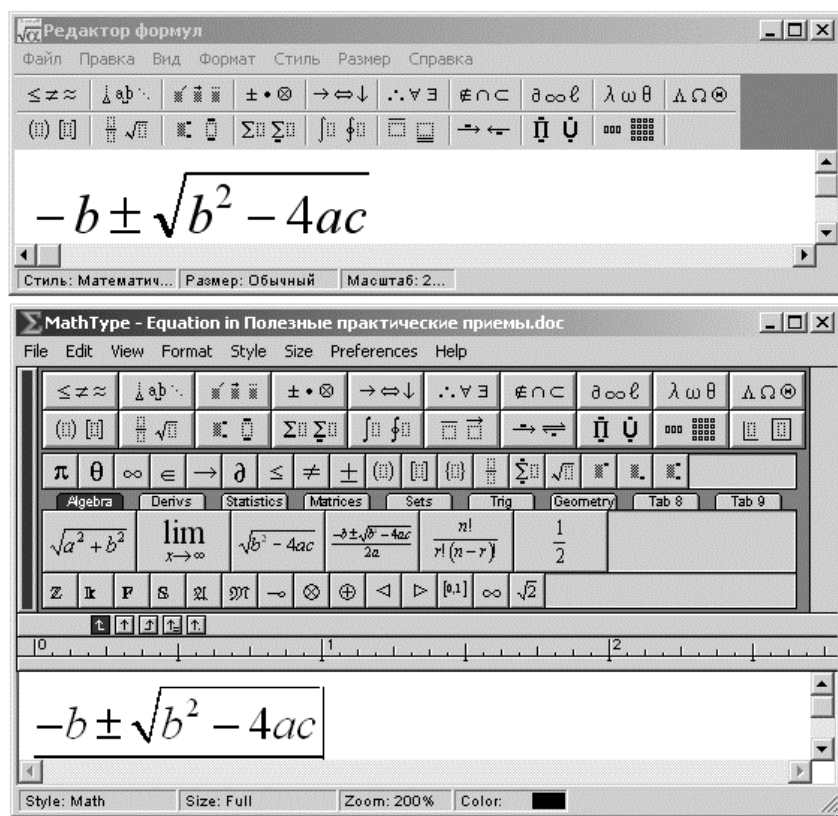
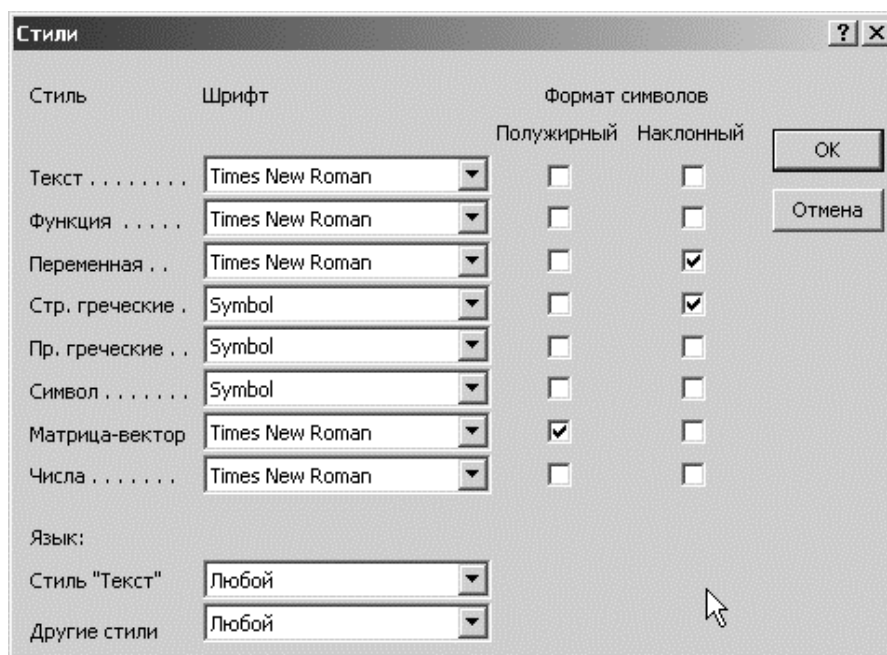


Рис. 3.38. Рабочие интерфейсы редакторов формул

Совершенно очевидно, что возможности редактора MathType5.2a значительно богаче EQNEDT32, поскольку на закладке в нижней панели рабочего окна помещены заготовки формул по алгебре, статистике, геометрии, тригонометрии, математической логике, матрицам и множествам. Да и списки операторов на стандартных панелях инструментов содержат намного больше символов.

В данной книге не предусмотрено подробно разбирать приемы работы с математическими редакторами. Тем более что рабочие меню настолько интуитивно понятны, что какой-либо методической помощи не требуется.

Главное – это придерживаться требований к оформлению формул. Все формулы в курсовой работе должны быть выполнены одним стилем и одним размером шрифта для каждого элемента формулы (обычный, крупный индекс, мелкий индекс, крупный символ, мелкий символ). На рис. 3.39 приведены настройки стиля и размеров элементов формул. Эти настройки должны соблюдаться для всей курсовой работы.





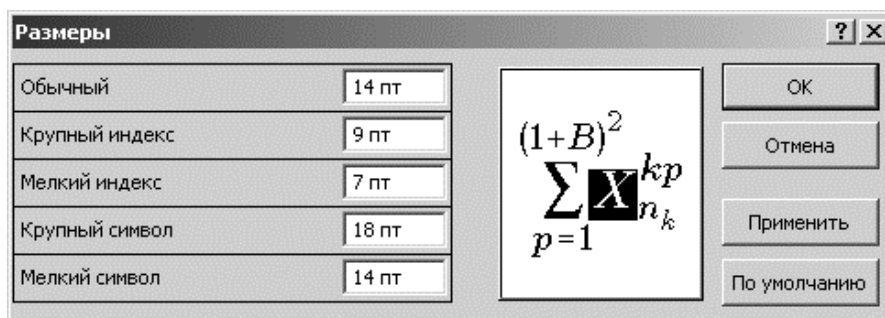


Рис. 3.39. Настройки стиля символов и размеров элементов формул

Много разнобоя вызывается введением в формулу знака умножения (характерные варианты: \* × ⊗ • ·). Чтобы избежать этого, надо договориться о том, что все знаки умножения в формулы будут вставляться одинаково – в меню *Операторы* нужно выбрать символ точки минимальных размеров (рис. 3.40).

Обычно затруднения связаны с включением в математические выражения пробелов и текста. В формулу, создаваемую математическим стилем, с клавиатуры пробел не вставить. Но это легко сделать, если в меню *Пробелы и многоточия* в среде редактора

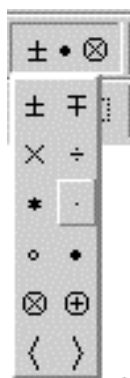


Рис. 3.40. Знак умножения

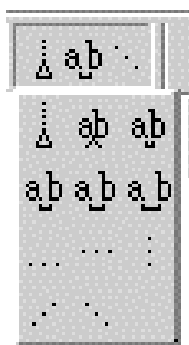


Рис. 3.41. Знаки пробела

вставить один, два или три пробела (рис. 3.41). Убрать пробелы можно кнопкой, в нижней части которой помещен треугольник.

Трудно вручную разместить формулы вместе с их номерами в нужном месте текста. Можно, конечно, пробелами перемещать формулу и номер, но это уже несовременно. Тем более, что эту операцию придется выполнять для каждой формулы персонально, а это очень утомительно

и долго.

В качестве одного из способов решения этой проблемы может быть использование табличного шаблона из двух смежных ячеек с автоподбором по ширине окна, левая из которых содержит настройки с выравниванием по центру и с отбивкой по 6 пт сверху и снизу. Правая предназначена для помещения номера, поэтому она выравнивается по правому краю с такой же отбивкой, как и левая.

Внешний вид табличного шаблона для размещения математических формул приведен на рис. 3.42.

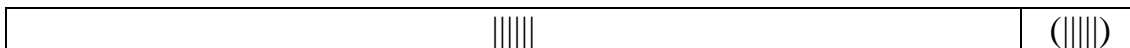


Рис. 3.42. Шаблон для размещения математических формул

Разумеется, что сначала нужно выделить таблицу, а потом в меню *Таблицы и границы* нужно выбрать вариант списка *Без границ*.

### **3.2.14. Цветовое оформление курсовых работ**

**3.2.14.1. Элементы теории цвета.** Физически белый солнечный свет, который мы видим, разлагается на всем нам хорошо знакомые с детства компоненты: **Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан – Красный, Оранжевый, Желтый, Зеленый, Голубой, Синий, Фиолетовый** – цвета радуги. Наш глаз способен различать цвет по длинам волн. В приведенном перечне цвета ранжированы по длинам волн в порядке их убывания от 770 до 380 нм. Длинные волны образуют инфракрасную область спектра, а короткие – ультрафиолетовую. Красный цвет (**Red**), зеленый цвет (**Green**) и синий цвет (**Blue**) принято называть эталонными или основными цветами. Им соответствуют длины волн 700 нм (красный), 546 нм (зеленый) и 435 нм (синий). Эти три цвета являются эталонными, так как ни один из них нельзя получить путем смешения двух оставшихся.

**3.2.14.2. Цветовая модель RGB.** Для воспроизведения информации на мониторе используются микроквадратики – пикселы, включающие три цветовых элемента – красный, зеленый и синий. Поэтому наиболее естественной системой управления цветом для компьютерной графики, отображаемой на мониторе, можно признать систему RGB. В системе RGB любой цвет образуется путем смешения трех чистых цветов – красного, зеленого и синего. Интенсивность свечения каждой из цветовых компонент варьируется на 256 уровнях от 0 до 255. Система RGB позволяет получить все 16,7 миллионов оттенков, которые способна воспроизвести электронная аппаратура монитора.

**3.2.14.3. Программа Color Point для подбора цвета.** Цветовое оформление документа существенно упрощается с помощью программы Color Point (рис. 3.43).

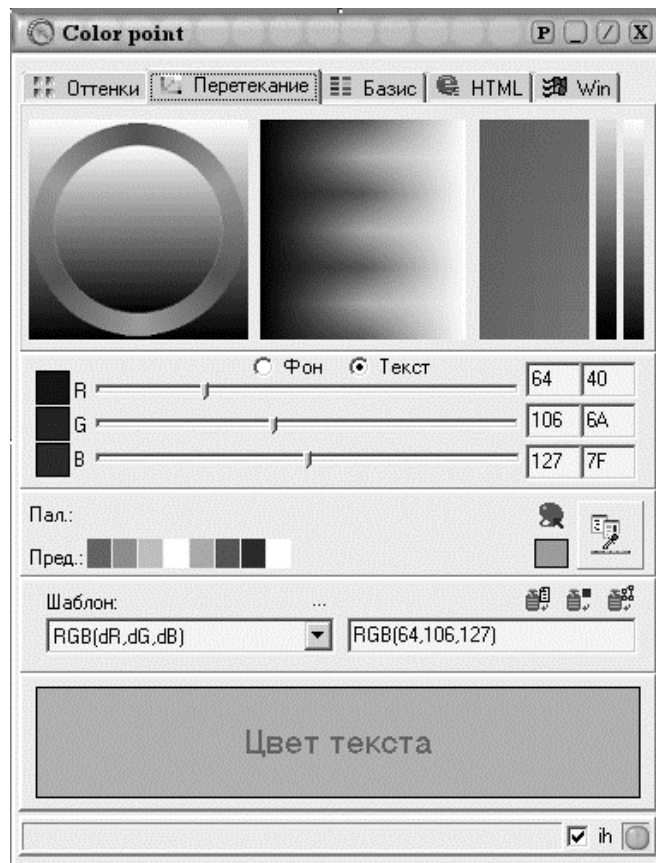


Рис. 3.43. Вкладка *Перетекание* Главного меню программы Color Point

К достоинствам программы подбора цветов следует отнести возможность синтеза любого цвета и оттенка путем использования функции RGB с удобным способом изменения значений шкал основных цветов на оптических осях. Цвета можно создавать отдельно для фона и для текста. Окно предварительного просмотра позволяет оперативно оценивать впечатление от сочетания цветов в будущем документе. Рабочими инструментами программы служат способы формирования цветовых шаблонов, размещенные на вкладках: *Оттенки*, *Перетекание*, *Базис*, *HTML* и *Классическая палитра Windows*. Самое ценное в программе – это шкала рекомендуемых сочетаний цветов для фона и для текста на этом фоне.

**3.2.14.4. Выбор цветового решения курсовой работы.** К сожалению, в данной книге невозможно было сделать цветные вклейки, а рассказывать о цветовом решении без цветных иллюстраций – занятие неблагодарное. Поэтому остается привести лишь несколько общих рекомендаций.

Каждый цвет имеет эмоциональную окраску. Они могут быть

теплыми (красный и желтый) и холодными (синий и зеленый). Одни сочетания считаются детскими (оранжевый и ярко-зеленый) или младенческими (розовый и голубой), другие – мужественными (коричневый и темно-синий) или женственными (сиреневый и салатный).

При выборе цветов нужно стараться предугадать эмоции тех читателей, кому адресуется документ, на восприятие того или иного цвета. Многие цвета имеют устойчивую ассоциативную связь с какими-то событиями или явлениями.

Выбор цветов зависит от типа публикации. В публикациях неофициального характера можно использовать яркие, насыщенные цвета, если же публикация имеет академический характер, ее гамма будет более сдержанной, цвета – приглушенными, очень светлыми и малозаметными. В изданиях рекламного характера существует неписанное правило – чем шикарнее вещь, тем спокойнее цветовое решение рекламного материала. Чем больше цветов использовано в документе, тем труднее добиться стройности композиции.

Тексту и фону нужно назначать контрастные цвета (не контрастные по яркости, а контрастные по цвету). На красном фоне нельзя размещать черный текст. Следует избегать раздражающего сочетания цветных тонов. Например, сочетание желтого с красным сильно возбуждает глаз. Это сочетание очень действенно, когда нужно привлечь внимание читателя. Неслучайно ярлыки «New» имеют такое цветовое решение. Для содержательного текста эта цветовая гамма совершенно неприменима.

### **3.2.15. Сравнение и объединение документов**

Word умеет сравнивать и объединять две версии документа. При этом программа отмечает изменения, выполненные при объединении версий, или выделяет различия между сравниваемыми документами (рис. 3.44).

Операция объединения может пригодиться, например, если в разное время описаны результаты одного и того же раздела курсовой работы, а теперь требуется создать единый документ, включающий обе версии изменений. В результате объединения документ будет содержать весь текст одной из версий, а текст другой копии программа пометит как добавленное исправление. Затем можно принять или отклонить все такие «исправления».

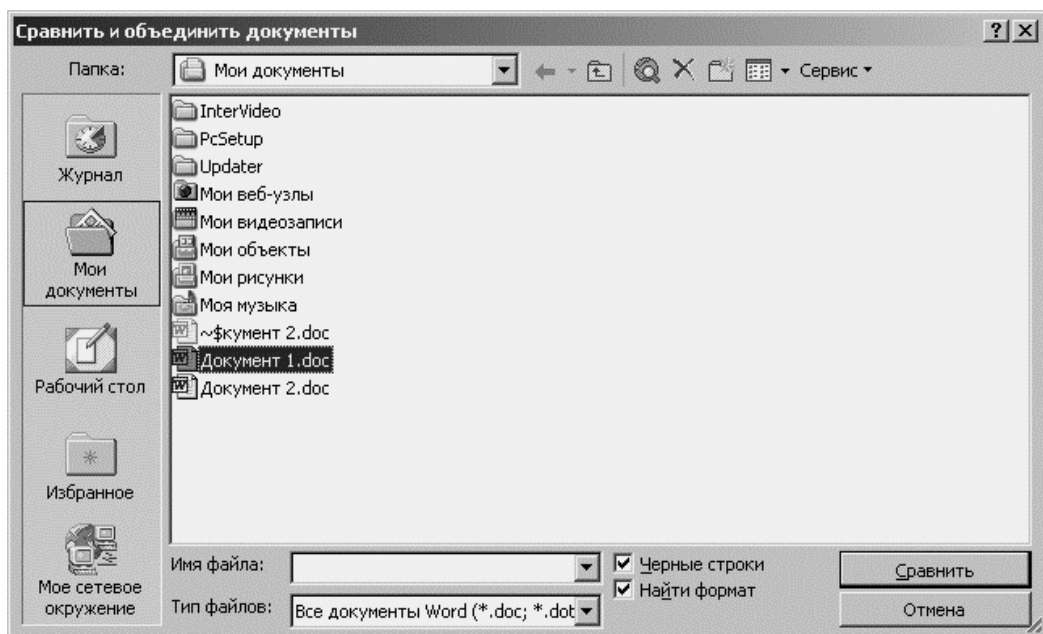


Рис. 3.44. Сравнение двух документов

Если версии документа имеют различное форматирование (например, в одном из текстов заголовки выделены курсивом), а вы указали Word найти формат, программа попросит выбрать, формат какого документа станет основным. И хотя в результате текст будет оформлен в соответствии только с одним документом, все различия форматов сохранятся в пометках исправлений, позволяя затем рассмотреть каждый элемент.

Объединение документов происходит так:

- откройте любой из объединяемых документов. Назовем его первым документом;
- выберите команду *Сервис => Сравнить и объединить исправления*, в открывшемся диалоговом окне выделите второй документ;
- снимите флажок *Черные строки*;
- если нужно, чтобы Word отметил различия форматов объединяемых документов, установите флажок *Найти формат*.
- Затем выполните одно из следующих действий:
  - чтобы записать результат объединения поверх второго документа, щелкните на кнопке *Объединить*; первый файл останется без изменений;
  - для записи результата объединения в первый документ щелкните на стрелке кнопки *Объединить* и выберите команду *Объединить в текущий документ*; в этом случае сохранится без

изменений содержимое второго файла.

Чтобы сохранить объединенный документ в новый файл, выберите из меню *Объединить* команду *Объединить в новый документ*.

Если требуется просто сравнить два документа, можно не объединять их. Для этого:

- откройте любой из объединяемых документов;
- выберите команду *Сервис => Сравнить и объединить исправления*, в открывшемся диалоговом окне выделите второй документ;
- установите флажок *Черные строки*;
- нажмите кнопку *Сравнить*.

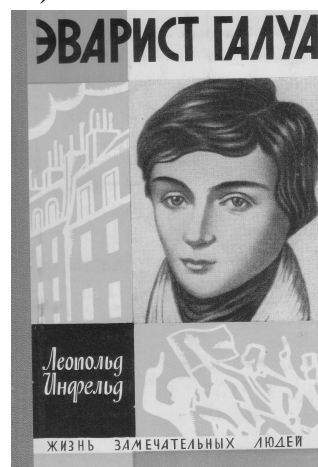
Будет создан новый документ, содержащий текст второго документа плюс все изменения (в режиме записи исправлений), которые необходимо выполнить, чтобы получить первый документ. Если теперь отклонить все исправления, вы вернетесь ко второму файлу, а если принять их – к первому.

### **3.2.16. Некоторые приемы редактирования сканированных документов**

В 1894 году были названы имена четырех крупнейших математиков XIX века: Гаусс, Коши, Абель и Галуа.

В учебной программе нашей дисциплины мы широко используем элементы теории проективных геометрий и полей Галуа для построения информационных сетей при моделировании химико-технологических систем. Предлагая в качестве примера сканированного текста его предсмертное обращение к потомкам, мы этой маленькой порцией информации об Эваристе Галуа хотим сказать о своем уважении к этой яркой личности, который успел пожить на свете чуть больше двадцати лет (рис. 3.45).

**Эварист Галуа** (26 октября 1811 г. – 13 июня 1832 г.) Когда Галуа умер, его знали как ярого республиканца, любившего Францию и свободу, ненавидевшего тиранию и сражавшегося с ней. Современным математикам, знакомым с терминами «группа Галуа», «поле Галуа», «теория Галуа», он известен как один из величайших математиков всех времен, в юности убитый на дуэли. Он был и тем, и другим. История заслуживает, чтобы его знали и помнили не только математики, но и все люди доброй воли.



При сканировании в текст добавляются символы «мягкий перенос» и «конец строки», которых нет в оригинале. Эти символы можно увидеть только тогда, когда активирована кнопка *Непечатаемые знаки* или когда в диалоговом окне *Вид* в разделе *Знаки форматирования* поставлен флажок *Все* (*Сервис => Параметры => Вид*).

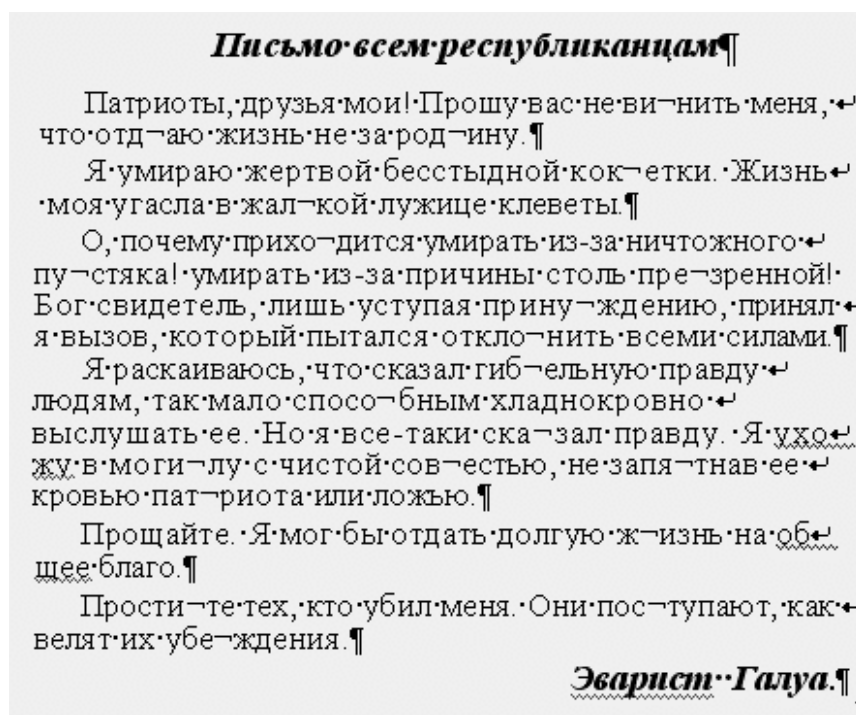


Рис. 3.45. Сканированный текст предсмертного письма Эвариста Галуа

Чтобы избавиться от лишних знаков, нужно вызвать диалоговое окно *Найти и заменить* (кнопка *Заменить* на вспомогательной панели инструментов или из верхнего меню *Правка => Заменить*), поставить курсор на текстовое поле *Найти*, нажать кнопку *Больше* и в дополнительной области окна нажать кнопку *Специальный*, а в появившемся списке выбрать строку *Мягкий перенос*, перевести курсор на поле *Заменить на* и нажать или на кнопку *Найти далее*, или *Заменить все* (рис. 3.46).

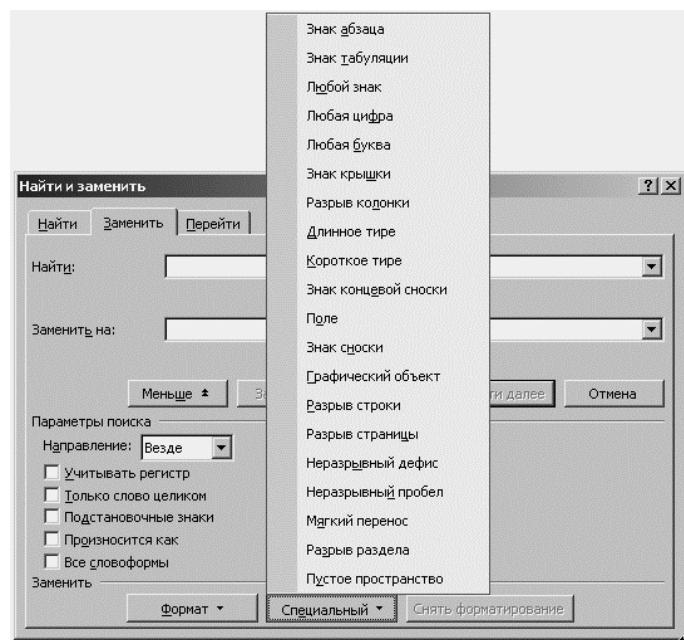


Рис. 3.46. Поиск и замена специальных знаков, содержащихся в сканированном тексте

Точно так же поступают с символом «конец строки».



## **4. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ**

### **4.1. Математический пакет Mathcad**

#### **4.1.1. Введение в Mathcad**

Mathcad является математическим программным пакетом, позволяющим проводить разнообразные научные и инженерные расчеты, начиная от элементарной арифметики и заканчивая сложными реализациями численных методов.

Mathcad превращает экран компьютера в «живой» рабочий лист. Он прост в использовании и легок в обучении. Он не только обладает достаточной мощностью, чтобы выполнять численные и аналитические расчеты, но и позволяет писать формулы и текст там, где нужно, словно карандашом на листе бумаги.

Другая сторона развития программного обеспечения – ориентация на «непрограммирующего пользователя». В этом случае пользователь такого пакета получает возможность сосредоточиться на сущности самой задачи, а не на способах ее программной реализации. В свою очередь пользователь должен ясно представлять возможности используемого пакета и заложенных в нем методов, а также уметь выбрать необходимый пакет, соответствующий решаемой задаче.

Благодаря простоте применения, наглядности математических действий, обширной библиотеке встроенных функций и численных методов, возможности символьных вычислений, а также превосходному аппарату представления результатов (графики самых разных типов, мощные средства подготовки печатных документов), Mathcad стал наиболее популярным математическим приложением. Mathcad, в отличие от большинства других современных математических приложений, построен в соответствии с принципом WYSIWYG («What You See Is What You Get» – «Что Вы видите, то и получите»). Поэтому он очень прост в использовании, в частности, из-за отсутствия необходимости сначала писать программу, реализующую те или иные математические расчеты, а потом запускать ее на исполнение. Вместо этого достаточно просто вводить математические выражения с помощью встроенного редактора формул, причем в виде, максимально приближенном к общепринятому, и сразу получать результат.

В состав Mathcad входят несколько интегрированных между

собой компонентов:

- мощный текстовый редактор, позволяющий вводить, редактировать и форматировать как текст, так и математические выражения;
- вычислительный процессор, позволяющий проводить расчеты по введенным формулам, используя встроенные численные методы;
- символьный процессор, позволяющий проводить аналитические вычисления;
- большой объем справочной информации, как математической, так и инженерной, оформленной в качестве интерактивной электронной книги.

После того как Mathcad установлен на компьютере и запущен на исполнение, появляется основное окно приложения (интерфейс пользователя), показанное на рис. 4.1. Оно имеет ту же структуру, что и большинство приложений Windows. Сверху вниз располагаются заголовок окна, строка меню, панели инструментов (стандартная, форматирование и математика) и рабочий лист, или рабочая область, документа (worksheet). Новый документ создается автоматически при запуске Mathcad. В самой нижней части окна находится строка состояния. Таким образом, интерфейс пользователя Mathcad сходен с другими приложениями Windows, и, помня о близости редактора Mathcad к обычным текстовым редакторам, можно интуитивно понять назначение большинства кнопок на панелях инструментов.

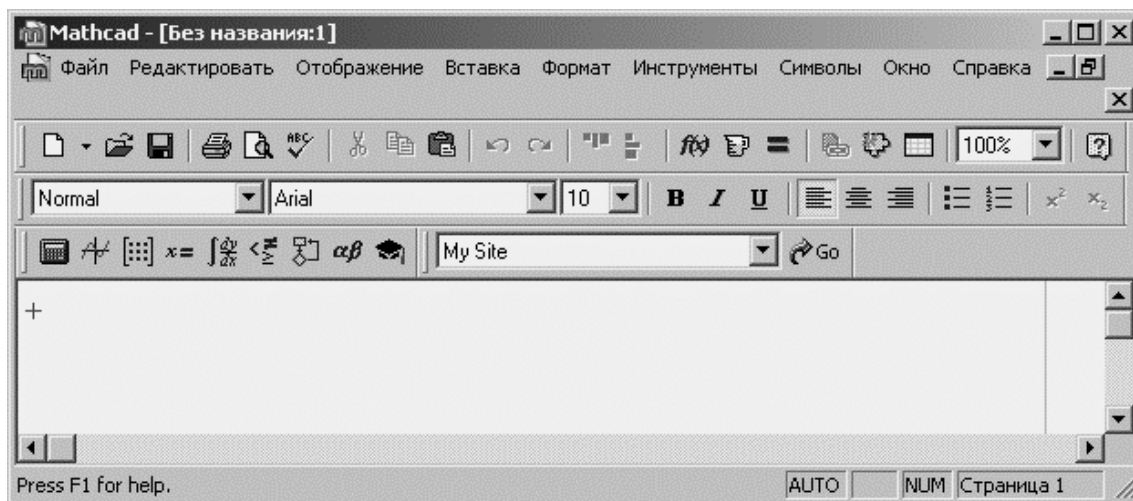


Рис. 4.1. Интерфейс пользователя с пустым документом

Помимо элементов управления, характерных для типичного текстового редактора, Mathcad снабжен дополнительными средствами

для ввода и редактирования математических символов, одним из которых является панель инструментов Математика. С помощью этой, а также ряда вспомогательных наборных панелей удобно осуществлять ввод уравнений.

Панели инструментов служат для быстрого (в один щелчок мыши) выполнения наиболее часто применяемых команд. Все действия, которые можно выполнить с помощью панелей инструментов, доступны и через верхнее меню. На рис. 4.2 изображено окно Mathcad с основными панелями инструментов (три из них расположены непосредственно под строкой меню), а также дополнительными математическими (или наборными) панелями. Перечислим основные панели.

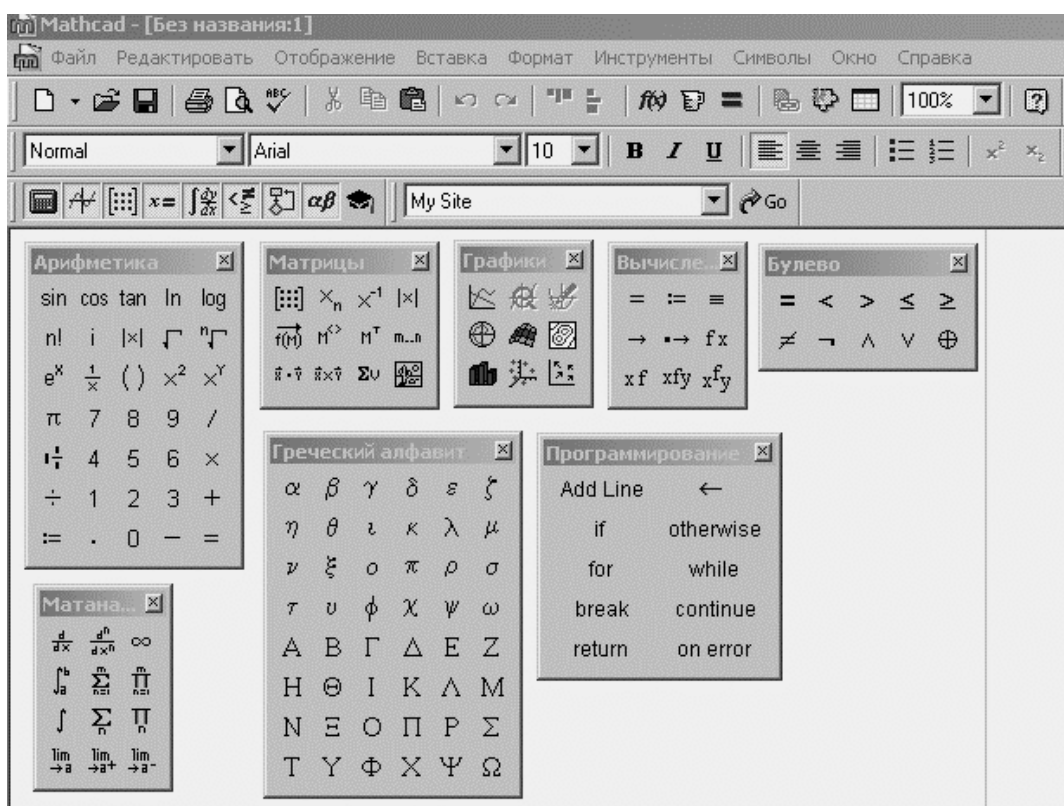


Рис. 4.2. Основные и математические (наборные) панели инструментов

*Стандартная* – служит для выполнения большинства операций, таких как действия с файлами, редакторская правка, вставка объектов и доступ к справочным системам;

*Форматирование* – для изменения типа и размера шрифта, выравнивания текста и формул;

*Математика* – для вставки математических символов и

операторов в документы;

*Ресурсы* – для быстрого вызова ресурсов Mathcad (примеров, учебников, электронных книг);

*Элементы управления* – для вставки в документы стандартных элементов управления интерфейса пользователя (флажков, проверки, полей ввода и т. п. Эта панель на рис. 4.1 и 4.2 не показана).

Группы кнопок на панелях инструментов разграничены по смыслу вертикальными линиями – разделителями. При наведении указателя мыши на любую из кнопок рядом с кнопкой появляется всплывающая подсказка – короткий текст, поясняющий назначение кнопки. Наряду со всплывающей подсказкой развернутое объяснение готовящейся операции можно отыскать в строке состояния.

Панель *Математика* предназначена для вызова на экран еще девяти панелей (рис. 4.2), с помощью которых происходит вставка математических операций в документы. В прежних версиях Mathcad эти математические панели инструментов назывались палитрами или наборными панелями. Чтобы вызвать какую-либо из них, нужно нажать соответствующую кнопку на панели *Математика*. Перечислим назначение математических панелей:

*Арифметика* – служит для вставки основных математических операций;

*Графики* – для вставки графиков;

*Матрицы* – для вставки матриц и матричных операторов;

*Вычисления* – для вставки операторов управления вычислениями;

*Матанализ* – для вставки операторов интегрирования, дифференцирования, суммирования;

*Булево* – для вставки логических (булевых) операторов;

*Программирование* – для программирования средствами Mathcad;

*Греческие символы* – для вставки греческих символов;

*Символика* – для вставки символьных операторов (на рисунке не показана, так как в курсовых работах символьные операции не предусмотрены).

При наведении указателя мыши на многие из кнопок математических панелей появляется всплывающая подсказка, содержащая сочетание горячих клавиш, нажатие которых приведет к эквивалентному действию. Ввод действий с клавиатуры часто удобнее нажатия кнопок панелей инструментов, но требует большего опыта.

Вызвать любую панель на экран или скрыть ее можно с помощью пункта *Панели инструментов* меню *Отображение*, выбирая в открывающемся подменю имя нужной панели. Убрать любую панель

с экрана можно еще и посредством контекстного меню, которое вызывается щелчком правой кнопкой мыши в любом месте панели (например, на любой кнопке). В контекстном меню следует выбрать пункт *Скрыть*. Кроме того, если панель плавающая, т. е. не прикреплена к основному окну (как, например, все панели на рис. 4.2), то ее можно отключить кнопкой закрытия.

#### **4.1.2. Основы вычислений**

Большинство численных методов в Mathcad реализовано в виде встроенных функций. Пролистайте на досуге списки в диалоговом окне *Вставить функцию*, чтобы представлять себе, какие специальные функции и численные методы можно использовать в расчетах.

Не всякий символ можно ввести с клавиатуры. Например, неочевидно, как вставить в документ знак интеграла или дифференцирования. Панель инструментов *Математика*, показанная на рис. 4.2, содержит инструменты для вставки в документы типично математических объектов (операторов, графиков, элементов программ и т. п.). Панель содержит девять кнопок, нажатие каждой из которых приводит, в свою очередь, к появлению на экране еще одной панели инструментов. С помощью этих девяти дополнительных панелей можно вставлять в документы Mathcad разнообразные объекты.

Большинство математических выражений можно ввести исключительно с помощью панели *Арифметика*, не пользуясь клавиатурой.

Если вы только начинаете осваивать Mathcad, вводить формулы лучше, пользуясь наборными панелями инструментов и процедурой вставки функций с помощью диалога *Вставить функцию*. Это позволит избежать многих возможных ошибок.

**4.1.2.1. Переменные и оператор присваивания.** Для того чтобы присвоить некоторой переменной (например, переменной  $x$ ) определенное значение, необходимо ввести выражение типа  $x := 1$ . А вычисление значения переменной  $x$  осуществляется при помощи оператора численного вывода (знака равенства).

Следует еще раз обратить внимание на то, что присваивание обозначается не знаком равенства, а специальным символом, чтобы подчеркнуть его отличие от операции численного вывода. Оператор присваивания вводится нажатием клавиши-двоеточия  $<:=>$  либо при помощи панели *Арифметика*. Символ равенства  $\langle = \rangle$  говорит о вычислении значения слева направо, а символ  $\langle := \rangle$  – о присваивании значения справа налево. Если попытаться ввести

знак численного вывода (обычного равенства) для переменной, впервые встречающейся в документе, он будет автоматически заменен символом присваивания.

Для того чтобы вычислить значение выражения, содержащего некоторую переменную, следует просто ввести его, а затем применить оператор численного вывода. При этом необходимо, чтобы этой переменной ранее в документе было присвоено какое-либо значение.

В Mathcad запрещено определять функции пользователя посредством рекуррентных выражений, например  $f(x) = f(x) + 1$ . При попытке вычисления  $f(x)$  вместо ее нового (рекуррентного) присваивания будет организован бесконечный цикл, который на определенном шаге приведет к операции переполнения.

Любое выражение, начинающееся с цифры, Mathcad интерпретирует как число. Поэтому для ввода числа просто начните его набирать на клавиатуре.

Некоторые имена в Mathcad зарезервированы под системные переменные, которые называются встроенными константами. Встроенные константы делятся на два типа: математические, хранящие значения некоторых общеупотребительных специальных математических символов, и системные, определяющие работу большинства численных алгоритмов, реализованных в Mathcad.

Значением переменной или функции может быть не только число, но и строка, состоящая из любой последовательности символов, заключенной в кавычки. Для работы со строками в Mathcad имеется несколько встроенных функций.

В версии Mathcad 13 введен новый тип данных, носящий имя NaN – NotANumber (НеЧисло). Он предназначен, главным образом, для идентификации элементов массивов, содержащих пропущенные (по тем или иным причинам) данные. В частности, при импорте матрицы данных из внешнего файла элементам, соответствующим пропускам (пустым местам в файле), будет автоматически присвоено значение NaN. Если какие-либо элементы вектора или матрицы, имеющие тип NaN, будут откладываться на графике, то они станут просто игнорироваться при построении кривой. Тем самым, во-первых, повышается надежность импорта данных из файлов; во-вторых, улучшается качество построения графиков рядов данных при наличии пропусков; и, в-третьих, пользователю предоставляются дополнительные средства по управлению вычислениями, так как любой переменной можно присвоить значение НеЧисло, например,  $x := \text{NaN}$ .

**4.1.2.2. Работа с массивами.** Массивами (arrays) называют упорядоченные последовательности чисел или элементов массива. Доступ к любому элементу массива возможен по его индексу, т. е. номеру в последовательности чисел. Применение массивов чрезвычайно эффективно в математических расчетах.

В Mathcad условно выделяются два типа массивов: векторы (одноиндексные массивы, листинг 4.1), матрицы (двухиндексные, листинг 4.2) и тензоры (многоиндексные); ранжированные переменные – векторы, элементы которых определенным образом зависят от их индекса.

**Листинг 4.1. Одномерный массив (вектор)**

$$a := \begin{pmatrix} 6 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix}$$
$$a_0 = 6$$
$$a_2 = 2$$

Доступ ко всему массиву осуществляется обычным именованием векторной переменной. Над элементами массива можно совершать такие же действия, как и над обычными числами. Нужно только правильно задать соответствующий индекс или сочетание индексов массива. Например, чтобы получить доступ к нулевому элементу вектора  $a$  из листинга 5.1, нужно произвести следующие действия:

- ввести имя переменной массива ( $a$ ); нажать кнопку *Нижний индекс* на панели *Матрица* либо ввести  $\langle [ \rangle$ ;
- в появившийся справа снизу от имени массива местозаполнитель ввести желаемый индекс (0).

Если после этого ввести знак численного вывода, то справа от него появится значение нулевого элемента вектора, как показано во второй строке листинга 4.1.

**Листинг 4.2. Двумерный массив (матрица)**

$$a := \begin{pmatrix} 2 & 4 & 1 \\ 3 & 5 & 7 \\ 1 & 3 & 6 \end{pmatrix}$$

$$a_{0,0} = 2$$

$$a_{1,2} = 7$$

Чтобы получить доступ к элементу многоиндексного массива, нужно поступать аналогично, только в местозаполнитель индекса ввести первый индекс, запятую и в появившийся после запятой местозаполнитель ввести второй индекс (листинг 4.2).

В рассмотренных листингах нумерация индексов массивов начинается с нуля, иными словами, первый элемент массива имеет индекс 0. Стартовый индекс массива задается системной переменной `ORIGIN`, которая по умолчанию равна нулю. Если вы привыкли нумеровать элементы векторов и матриц с единицы, присвойте этой переменной значение 1. Обратите внимание, что в этом случае попытка выяснить значение нулевого элемента вектора приводит к ошибке, поскольку его значение не определено.

**4.1.2.3. Системные переменные и строковые константы.** Некоторые имена в Mathcad зарезервированы под системные переменные, которые называются встроенными константами. Встроенные константы делятся на два типа: математические, хранящие значения некоторых общеупотребительных специальных математических символов, и системные, определяющие работу большинства численных алгоритмов, реализованных в Mathcad.

Математические константы (листинг 4.3):

- $\infty$  – символ бесконечности (вводится клавишами *Ctrl + Shift + <Z>*);
- $e$  – основание натурального логарифма (клавиша *<e>*);
- $\pi$  – число «пи» (вводится клавишами *Ctrl + Shift + <P>*);
- % – символ процента, *<%>*, эквивалентный 0,01.

**Листинг 4.3. Значения математических констант**



```
∞ = 1 × 10307
e = 2.718
π = 3.142
% = 0.01  10·25·% = 2.5
```

Системные переменные определяют работу численных методов, заложенных во встроенные функции. Их предустановленные значения перечислены в листинге 4.4 (в принципе, допускается их менять в любой части документа). Системные переменные:

- TOL – точность численных методов;
- CTOL – точность выполнения выражений, используемая в некоторых численных методах;
- ORIGIN – номер начального индекса в массивах и строковых переменных;
- PRNPRECISION – установка формата данных при выводе в файл;
- PRNCOLWIDTH – установка формата столбца при выводе в файл;
- CWD – строковое представление пути к текущей рабочей папке.

**Листинг 4.4. Предустановленные значения системных переменных**

```
TOL = 1 × 10-3
ORIGIN = 0
CTOL = 1 × 10-3
```

### 4.1.3. Ввод и редактирование формул

Формульный редактор Mathcad позволяет быстро и эффективно вводить и изменять математические выражения. Тем не менее, некоторые аспекты его применения не совсем интуитивны, что связано с необходимостью избежания ошибок при расчетах по этим формулам. Поэтому не пожалейте немного времени на знакомство с особенностями формульного редактора, и впоследствии при реальной работе вы сэкономите гораздо больше.

Элементы интерфейса редактора Mathcad (рис. 4.3):

- *Указатель мыши* – играет обычную для приложений Windows роль, следуя за движениями мыши;
- *Курсор* – обязательно находится внутри документа в одном из

трех видов:

- *Курсор ввода* – крестик красного цвета, который отмечает пустое место в документе, куда можно вводить текст или формулу;
- *Линии ввода* – горизонтальная и вертикальная линии синего цвета, выделяющие в тексте или формуле определенную часть;
- *Линия ввода текста* – красная вертикальная линия, аналог линий ввода для текстовых областей;

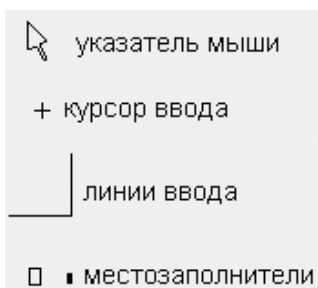


Рис. 4.3. Интерфейс редактирования

- *Местозаполнители* – появляются внутри незавершенных формул в местах, которые должны быть заполнены символом или оператором:

- *Местозаполнитель символа* – черный прямоугольник;
- *Местозаполнитель оператора* – черная прямоугольная рамка.

Большую часть окна Mathcad занимает рабочая область документа Mathcad, в которую пользователь вводит математические выражения, текстовые поля и элементы программирования. Ввести математическое выражение можно в любом пустом месте документа Mathcad. Для этого поместите курсор ввода в желаемое место документа, щелкнув в нем мышью, и просто начинайте вводить формулу, нажимая клавиши на клавиатуре. При этом в документе создается математическая область, которая предназначена для хранения формул, интерпретируемых процессором Mathcad.

Продемонстрируем последовательность действий на примере ввода выражения  $x^{5+x}$  (рис. 4.4):

1. Щелкните мышью, обозначив место ввода.
2. Нажмите клавишу  $\langle X \rangle$  – в этом месте вместо курсора ввода появится область с формулой, содержащей один символ  $x$ , причем он будет выделен линиями ввода.
3. Введите оператор возведения в степень, нажав клавишу  $\langle \wedge \rangle$  либо выбрав кнопку возведения в степень на панели инструментов *Арифметика* – в формуле появится местозаполнитель для введения значения степени, а линии ввода выделяют этот местозаполнитель.



Рис. 4.4. Ввод формулы

4. Последовательно введите остальные символы  $\langle 5 \rangle$ ,  $\langle + \rangle$ ,  $\langle X \rangle$ .



Рис. 4.5. Ввод оператора

Таким образом, поместить формулу в документ можно, просто начиная вводить символы, числа или операторы, например + или /. Во всех этих случаях на месте курсора ввода создается математическая область, иначе называемая регионом, с формулой и линиями ввода. В последнем случае, если пользователь начинает ввод формулы с оператора, в зависимости от его типа автоматически появляются и местоополнители, без заполнения которых формула не будет восприниматься процессором Mathcad (рис. 4.5).

Чтобы изменить формулу, щелкните на ней мышью, поместив таким образом в ее область линии ввода, и перейдите к месту, которое хотите исправить. Перемещайте линии ввода в пределах формулы одним из двух способов:

- щелкая в нужном месте мышью;
- нажимая на клавиатуре клавиши: стрелки, пробел и *Ins*:

Клавиши со стрелками имеют естественное назначение, переводя линии ввода вверх, вниз, влево или вправо; клавиша *Ins* переводит вертикальную линию ввода с одного конца горизонтальной линии ввода на противоположный; пробел предназначен для выделения различных частей формулы.

Если раз за разом нажимать клавишу пробела в формуле, то линии ввода будут циклически изменять свое положение, как это показано на рис. 4.6. При нажатии пробела линии ввода будут попеременно выделять одну из двух частей формулы.

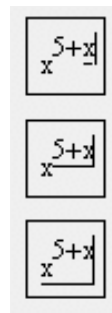


Рис. 4.6. Изменение положения линий ввода с помощью пробела

Таким образом, комбинация клавиш со стрелками и пробела позволяет легко перемещаться внутри формул. Иногда поместить линии ввода в нужное место формулы с помощью указателя мыши непросто. Поэтому в Mathcad для этого лучше использовать клавиатуру.

Большинство операций правки формул реализованы естественным образом, однако некоторые из них несколько отличаются от общепринятых, что связано с особенностью Mathcad как вычислительной системы.

#### 4.1.4. Операторы и функции

Операторы могут быть унарными (действующими на один операнд, как, например, оператор транспонирования матрицы или смены знака числа) и бинарными (например + или /, действующими на два операнда). При вставке нового оператора в документ Mathcad

определяет, сколько операндов ему требуется. Если в точке вставки оператора один или оба операнда отсутствуют, Mathcad автоматически помещает рядом с оператором один или два местозаполнителя.

То выражение в формуле, которое выделено линиями ввода в момент вставки оператора, становится его первым операндом.

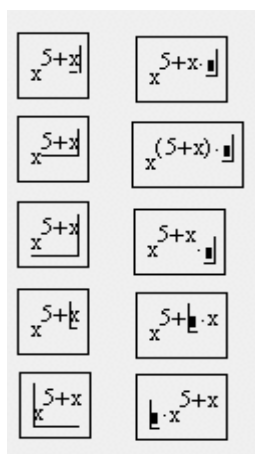


Рис. 4.7. Вставка оператора в разные части формулы

Для того, чтобы вставить оператор не после, а перед частью формулы, выделенной линиями ввода, нажмите перед его вводом клавишу *Ins*, которая передвинет вертикальную линию ввода вперед. Это важно, в частности, для вставки оператора отрицания.

На рис. 4.7 показано несколько примеров вставки оператора сложения в разные части формулы. В левой колонке приведены возможные размещения линий ввода в формуле, а в правой – результат вставки оператора сложения (т. е. нажатия клавиши <+>). Как видно, Mathcad сам расставляет, если это необходимо, скобки, чтобы часть формулы, отмеченная линиями ввода, стала первым слагаемым.

Документы Mathcad могут содержать текстовые объекты, а также разного рода комментарии и примечания.

Для того чтобы ввести текст непосредственно в рабочую область документа Mathcad, достаточно непосредственно перед началом ввода текста нажать клавишу <”>. В результате в месте расположения курсора ввода появится область с характерным выделением, обозначающая, что ее содержимое не будет восприниматься процессором Mathcad в качестве формул, а станет простым текстовым блоком. Редактировать атрибуты текста в пределах блоков можно стандартными для текстовых редакторов средствами панели *Форматирование*.

Каждый оператор в Mathcad обозначает некоторое математическое действие в виде символа. В полном согласии с терминологией, принятой в математике, ряд действий (например, сложение, деление, транспонирование матрицы и т. п.) реализован в Mathcad в виде встроенных операторов, а другие действия (например, *sin*, *erf* и т. п.) – в виде встроенных функций. Каждый оператор действует на одно или два числа (переменную или функцию), которые

называют операндами. Если в момент вставки оператора одного или обоих операндов не хватает, то недостающие операнды будут отображены в виде местозаполнителей. Символ любого оператора в нужное место документа вводится одним из двух основных способов:

- нажатием соответствующей клавиши (или сочетания клавиш) на клавиатуре;
- нажатием указателем мыши соответствующей кнопки на одной из математических панелей инструментов.

Напомним, что большинство математических панелей содержат сгруппированные по смыслу математические операторы, а вызвать эти панели на экран можно нажатием соответствующей кнопки на панели *Математика*.

**4.1.4.1. Арифметические операторы.** Операторы, обозначающие основные арифметические действия, вводятся с панели *Арифметика*, показанной на рис. 4.8:

- сложение и вычитание: + / -;
- умножение и деление: • / \* ;
- факториал: !;
- модуль числа: |x|;
- квадратный корень;
- корень  $n$ -й степени;
- возведение  $x$  в степень  $y$ :  $x^y$  ;
- изменение приоритета: скобки;
- численный вывод: = (все листинги).

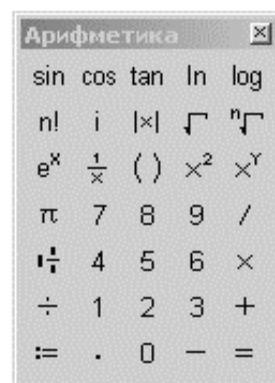


Рис. 4.8. Панель *Арифметика*

**4.1.4.2. Вычислительные операторы.** Вычислительные операторы вставляются в документы при помощи панели инструментов *Матанализ* (рис. 4.9). При нажатии любой из кнопок в документе появляется символ соответствующего математического действия, снабженный несколькими местозаполнителями. Количество

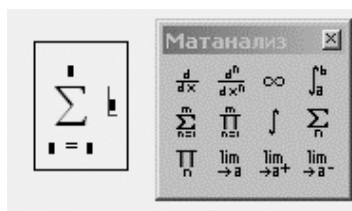


Рис. 4.9. Вставка оператора суммирования

и расположение местозаполнителей определяется типом оператора и в точности соответствует их общепринятой математической записи. Например, при вставке оператора суммы необходимо задать четыре величины: переменную, по которой надо произвести суммирование, нижний и верхний пределы, а также само выражение, которое будет стоять под знаком суммы. Для того чтобы вычислить неопределенный интеграл,

следует заполнить два местозаполнителя: подынтегрального выражения и переменной интегрирования и т. д.

После ввода какого-либо вычислительного оператора имеется возможность вычислить его значение либо численно, нажатием клавиши  $\langle \Rightarrow \rangle$ , либо аналитически, с помощью оператора символьного вывода.

**4.1.4.3. Матричные операторы.** Матричные операторы предназначены для совершения различных действий над векторами и матрицами. Самый простой и наглядный способ создания вектора или матрицы заключается в следующем:

– нажмите кнопку *Матрицы* на панели *Векторные и матричные операции* либо выберите пункт меню *Вставка => Матрица*;

– в диалоговом окне *Матрицы* (рис. 4.10) задайте целое число столбцов и строк матрицы, которую хотите создать;

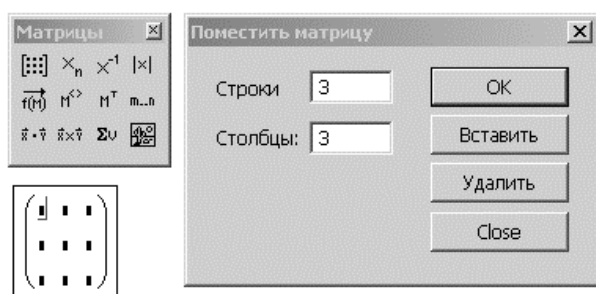


Рис. 4.10. Создание матрицы

– нажмите кнопку *Ok* или *Вставить* – в результате в документ будет вставлена заготовка матрицы с определенным числом строк и столбцов (рис. 4.10);

– введите значения в местозаполнители элементов матрицы.

Переходить от одного элемента матрицы к другому можно с помощью указателя мыши либо клавиш со стрелками.

Добавление в уже созданную матрицу строк или столбцов производится так: выделите линиями ввода элемент матрицы, правее и ниже которого будет осуществлена вставка столбцов и (или) строк; вставьте в него матрицу, как было описано выше (при этом допускается задание числа столбцов или строк равным нулю); заполните местозаполнители недостающих элементов матрицы.

**4.1.4.4. Функции.** Mathcad содержит большое количество встроенных функций. Некоторые из них просто рассчитывают определенное значение, а некоторые реализуют сложные численные алгоритмы. Учитывая, что большинство стандартных алгебраических функций Mathcad имеют общепринятую математическую форму, в этом пособии можно ограничиться лишь минимальными комментариями. Вставить в документ функцию легче всего, пользуясь диалоговым окном *Вставить функцию*, которое вызывается нажатием

кнопки с надписью  $f(x)$  на стандартной панели инструментов. В этом диалоге функции разбиты на несколько групп, поэтому несложно выбрать из них нужную. При выделении какой-либо группы в левом списке упомянутого диалога справа обнаруживается список функций, принадлежащих этой группе, а внизу в окне подсказок дается толкование этой функции (рис. 4.11).

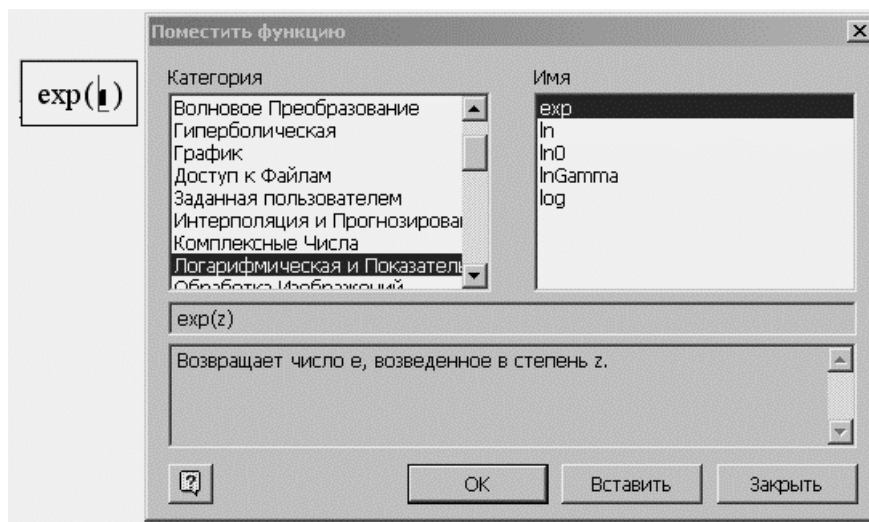


Рис. 4.11. Вставка функции

Mathcad включает целый ряд вспомогательных функций, во множестве ситуаций облегчающих вычисления, например *Усечения и округления*; *Сортировки*; *Строковые*; *Финансовые условия*; *Типы выражения*.

#### 4.1.5. Графическое оформление результатов расчетов

В Mathcad встроено несколько различных типов графиков, которые можно разбить на две большие группы.

Двумерные графики:

- XY (декартовый) график (XY Plot);
- полярный график (Polar Plot).

Трёхмерные графики:

- график трёхмерной поверхности (Surface Plot);
- график линий уровня (Contour Plot);
- трёхмерная гистограмма (3D Bar Plot);
- трёхмерное множество точек (3D Scatter Plot);
- векторное поле (Vector Field Plot).

Деление графиков на типы несколько условно, так как, управляя установками многочисленных параметров, можно создавать комбинации типов графиков, а также новые типы

(например, двумерная гистограмма распределения является разновидностью простого XY-графика).

**4.1.5.1. Создание графика.** Все графики создаются совершенно одинаково, с помощью панели инструментов *Графики*, различия обусловлены отображаемыми данными. Чтобы создать график, например, двумерный декартов:

- поместите курсор ввода в то место документа, куда требуется вставить график;

- если на экране нет панели *Графики*, вызовите ее нажатием кнопки с изображением графиков на панели *Арифметика*;

- нажмите на панели *Графики* кнопку *Декартов график* для создания декартового графика (рис. 4.12) или другую кнопку для иного желаемого типа графика.

В результате в обозначенном месте документа появится пустая область графика с одним или несколькими местозаполнителями (рис. 4.12, слева). Введите в местозаполнители имена переменных или функций, которые должны быть изображены на графике. В случае декартового графика это два местозаполнителя данных, откладываемых по осям  $X$  и  $Y$ .

Если имена данных введены правильно, нужный график появится на экране. Созданный график можно изменить, в том числе меняя сами данные, форматируя его внешний вид или добавляя дополнительные элементы оформления.

Чтобы удалить график, щелкните в его пределах мышью и выберите в верхнем меню *Правка* пункт *Вырезать* или *Удалить*.



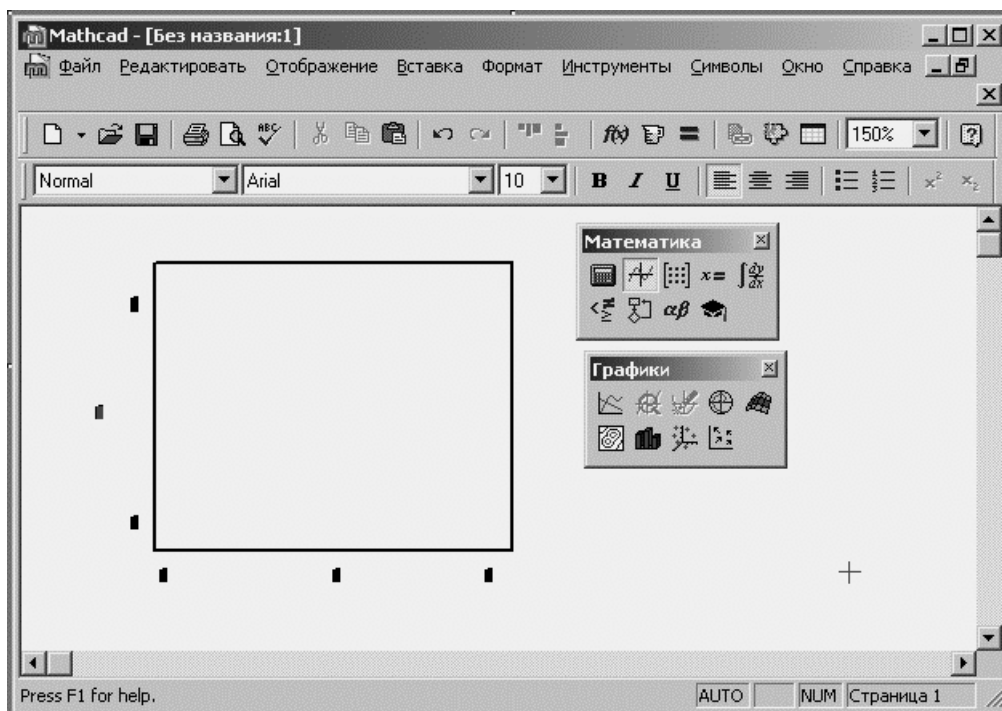


Рис. 4.12. Создание декартового графика при помощи панели *Графики*

**4.1.5.2. XY-график двух векторов.** Самый простой и наглядный способ получить декартов график – это сформировать два вектора данных, которые будут отложены вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Последовательность построения графика двух векторов  $x$  и  $y$  показана на рис. 4.13.

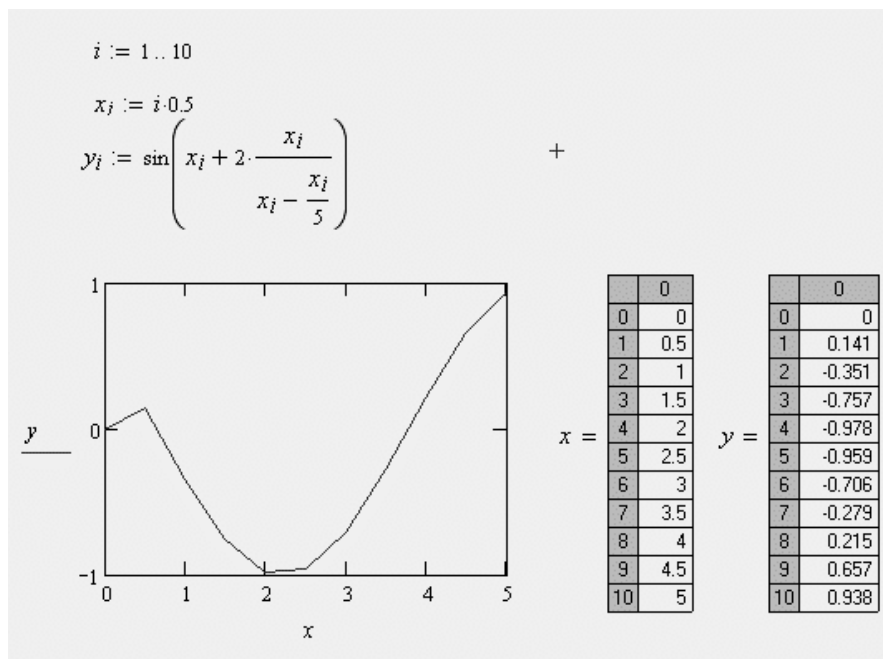


Рис. 4.13. XY-график двух векторов

В этом случае в местозаполнители возле осей вводятся просто имена векторов. Также допускается откладывать по осям элементы векторов, т. е. вводить в местозаполнители возле осей имена  $x_i$  и  $y_i$  соответственно. В результате получается график, на котором отложены точки, соответствующие парам элементов векторов, соединенные отрезками прямых линий. Образованная ими ломаная линия называется рядом данных, или кривой.

Обратите внимание, что Mathcad автоматически определяет границы графика, исходя из диапазона значений элементов векторов.

Стоит отметить, что подобным образом легко создать и XY-график столбцов или строк матрицы, применяя оператор выделения столбца и откладывая соответствующие выражения по осям графика

**4.1.5.3. XY-график функции.** Нарисовать график любой скалярной функции  $f(x)$  можно двумя способами. Первый заключается в дискретизации значений функции, присвоении этих значений вектору и прорисовке графика вектора. Второй, более простой способ, называемый быстрым построением графика, заключается во введении функции в один из местозаполнителей, а имени аргумента – в местозаполнитель у другой оси (рис. 4.14).

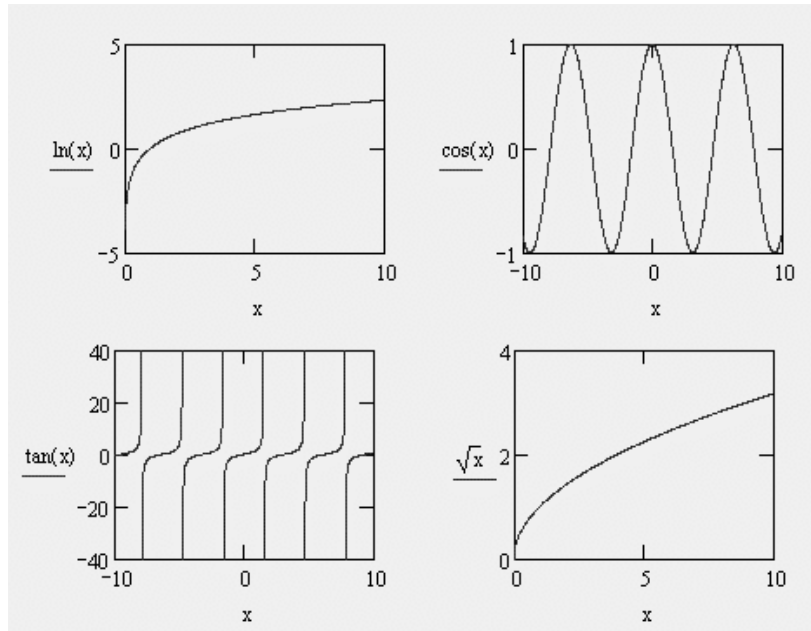


Рис. 4.14. Быстрое построение графиков функций

В результате Mathcad сам создает график функции в пределах

значений аргумента, по умолчанию принятых равными от  $-10$  до  $10$ . Разумеется, впоследствии можно поменять диапазон значений аргумента, и график автоматически подстроится под него.

**4.1.5.4. Построение рядов данных.** На одном графике может быть отложено до 16 различных зависимостей. Чтобы построить на графике еще одну кривую, необходимо выполнить следующие действия:

- поместить линии ввода таким образом, чтобы они целиком захватывали выражение, стоящее в надписи координатной оси  $Y$ ;
- нажать клавишу  $\langle, \rangle$ . В результате появится местозаполнитель, в который нужно ввести выражение для второй кривой;
- щелкнуть в любом месте вне этого выражения (на графике или вне него).

После этого вторая кривая будет отображена на графике.

Рис. 4.15 содержит два ряда данных, а нажатие клавиши с запятой  $\langle, \rangle$  приведет к появлению третьего местозаполнителя, с помощью которого можно определить третий ряд данных. Чтобы убрать один или несколько рядов данных с графика, удалите клавишами *BackSpace* или *Del* соответствующие им надписи у координатных осей. Описанным способом можно создать несколько зависимостей, относящихся к одному аргументу.

Чтобы на одном и том же графике отложить функции разного аргумента, следует ввести имена этих аргументов через запятую возле оси  $X$  (рис. 4.16).

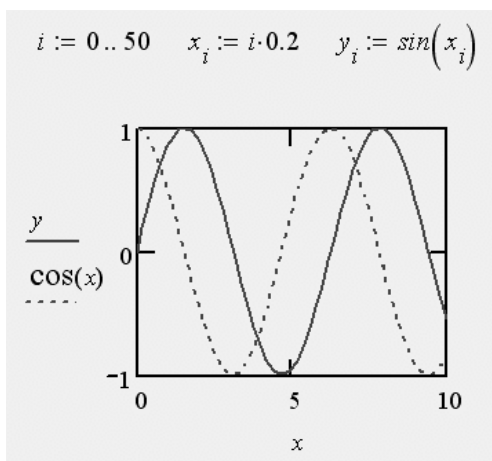


Рис. 4.15. Построение нескольких зависимостей на одном графике

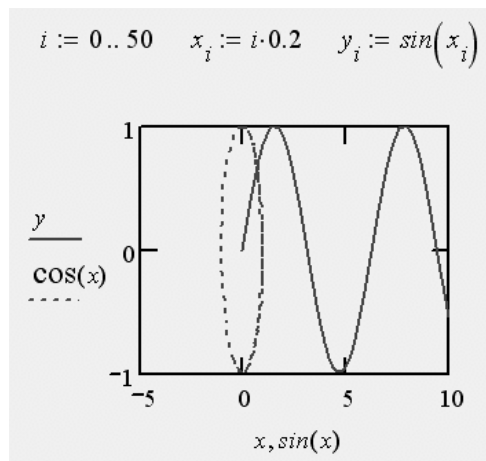


Рис. 4.16. Построение нескольких зависимостей от разных аргументов

**4.1.5.5. Форматирование графиков.** Возможности форматирования координатных осей графиков включают в себя

управление их внешним видом: диапазоном, шкалой, нумерацией и отображением некоторых значений на осях при помощи маркеров. Когда график создается впервые, Mathcad выбирает представленный диапазон для обеих координатных осей автоматически. Чтобы изменить этот диапазон, нужно перейти к редактированию графика, щелкнув в его пределах мышью. График будет выделен, а вблизи каждой из осей появятся два поля с числами, обозначающими границы диапазона. Щелкните мышью в области одного из полей, чтобы редактировать соответствующую границу оси. Пользуясь клавишами управления курсором и клавишами *BackSpace* и *Del*, удалите содержимое поля. Вместо него введите новое значение диапазона. Щелкните за пределами поля, и график будет автоматически перерисован в новых пределах. Изменение внешнего вида шкалы, нанесенной на координатную ось, производится с помощью диалогового окна *Форматирование* выбранного графика (*Формат => Графики => Оси => Зависимость X-Y*) (рис. 4.7). Вызвать диалог можно двойным щелчком мыши в области графика. С помощью флажков и переключателей легко поменять внешний вид каждой из осей.

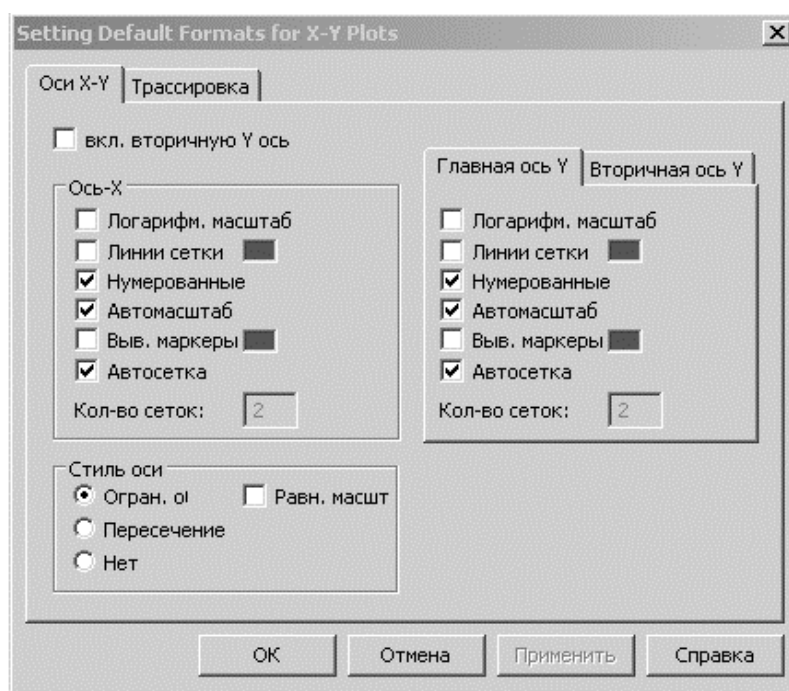


Рис. 4.17. Диалоговое окно *Форматирование* выделенного XY-графика

Если поставить флажки на полях *Линии сетки*, как на оси X, так и

на оси  $Y$ , то линии сетки будут прорисованы (пример сетки на полярном графике на рис. 4.18).

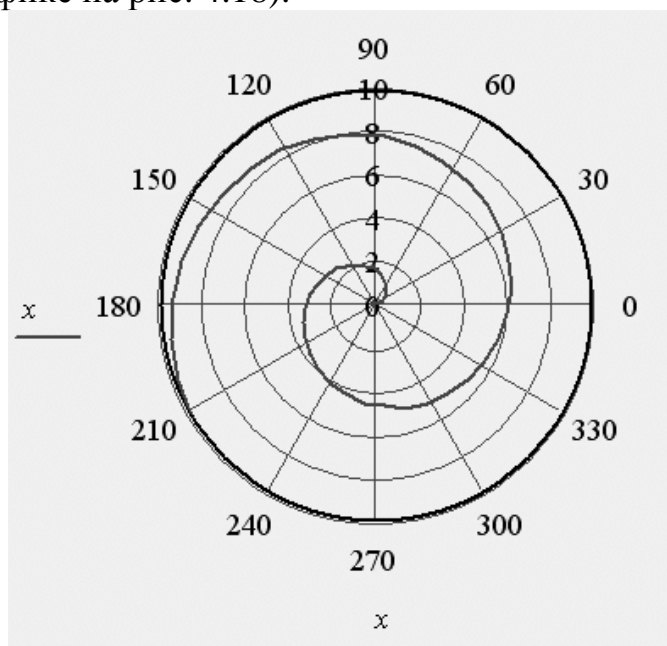


Рис. 4.18. Линии сетки на полярном графике

Манипулируя флажками на диалоговом окне, показанном на рис. 4.17, можно по своему усмотрению изменять внешний вид графиков:

- нумерованные – показать нумерацию шкалы. Если убрать этот флажок, то числа, размечающие шкалу, пропадут;
- автомасштаб – выбор диапазона оси производится автоматически процессором Mathcad;
- показать маркеры – выделение значений на осях;
- автосетка – разбиение шкалы производится автоматически процессором Mathcad. Если этот флажок снят, в поле ввода рядом с ним следует указать желаемое количество меток шкалы;
- одинаковый масштаб – оси  $X$  и  $Y$  принудительно рисуются в одинаковом масштабе;
- стиль оси – можно выбрать один из трех видов системы координат: *Прямоугольник*, *Пересечение* – координатные оси в виде двух пересекающихся прямых; *Нет* – координатные оси не показываются на графике.

Настроить и изменить параметры осей можно также в диалоговом окне *Формат оси*, которое появляется, если щелкнуть дважды на самой оси (рис. 4.19).

В Mathcad 13 можно добавить вторую ось  $Y$ , обладающую

собственной шкалой (рис. 4.20). Использование двух осей ординат очень удобно, когда на одном и том же графике представляются разнородные данные, не совпадающие по величине (например, данные различной размерности либо различающиеся на несколько порядков и т. п.).

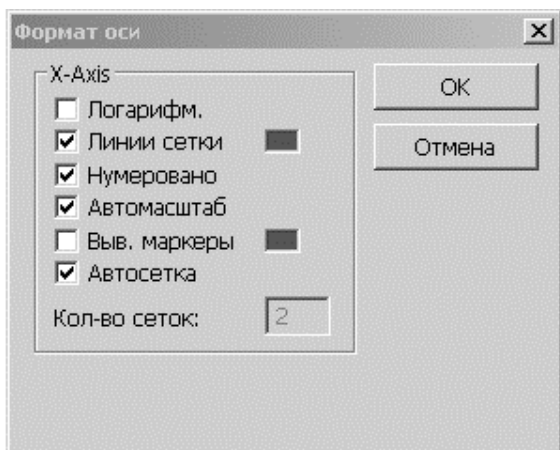


Рис. 4.19. Второй способ форматирования осей

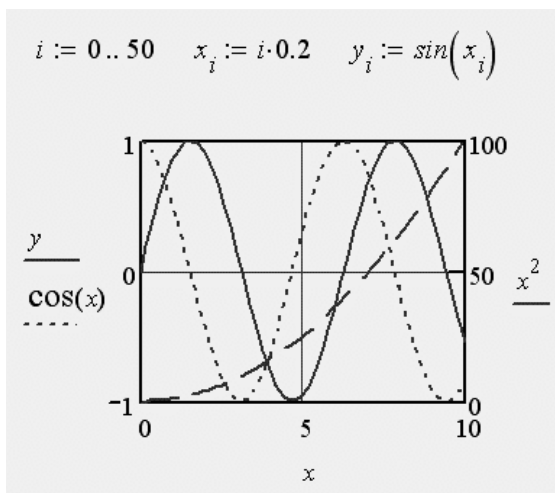


Рис. 4.20. Декартов график с двумя осями ординат

Для того чтобы задать опцию рисования второй оси ординат, нужно выполнить следующие действия:

- вызовите двойным щелчком диалоговое окно *Форматирование выбранного графика* и откройте его вкладку *Оси X-Y*;
- установите флажок проверки *Включить вторую ось Y*;
- откройте вкладку *Вторая ось Y* и настройте в ней желаемые параметры второй оси точно так же, как вы это делаете для первой оси;
- нажмите *Ok*;
- в появившиеся местозаполнители возле второй оси ординат введите желаемые имена переменных или выражения, которые вы хотите отложить на данной оси.

При желании настройте остальные параметры второй оси  $Y$  (пределы, маркеры и т. п.).

**4.1.5.6. Трехмерные графики.** Чтобы создать трехмерный график, требуется нажать кнопку с изображением любого из типов трехмерных графиков на панели инструментов *Графики*. В результате появится пустая область графика с тремя осями и единственным местозаполнителем в нижнем левом углу.

В этот местозаполнитель следует ввести либо имя  $z$  функции двух

переменных  $z(x, y)$  для быстрого построения трехмерного графика (рис. 4.21), либо имя матричной переменной  $z$ , которая задаст распределение данных  $z(x, y)$  на плоскости  $XY$ . Для получения графиков не требуется никакого текста, кроме листинга функции и введения имени этой функции или матрицы в местозаполнитель.

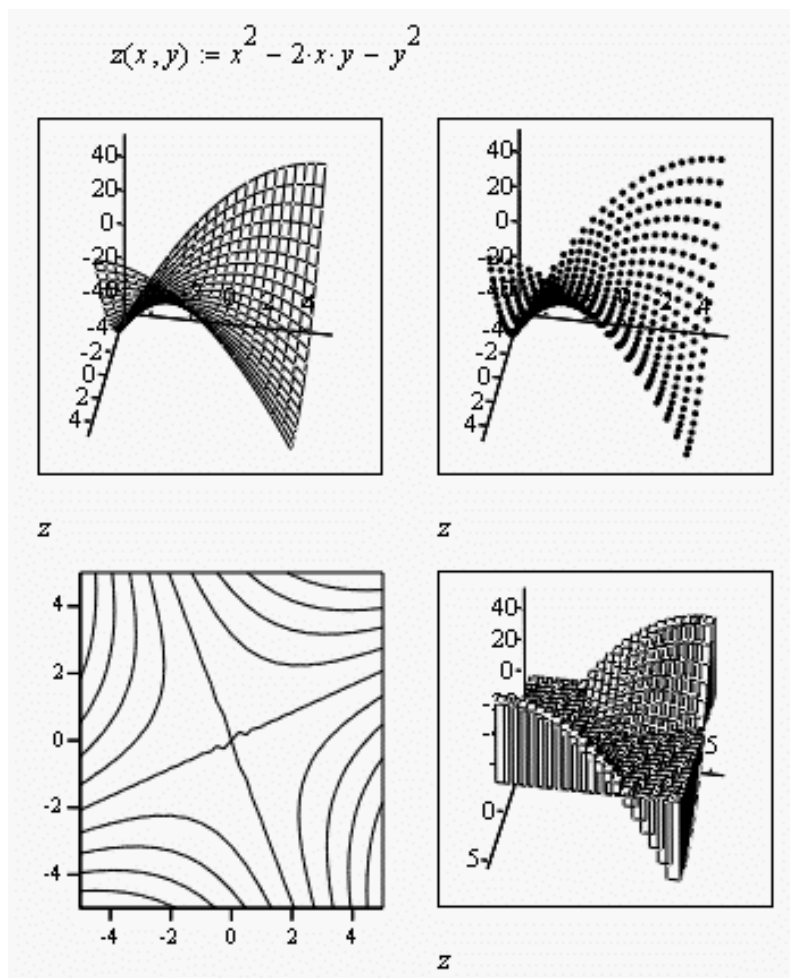


Рис. 4.21. Быстрое построение графика поверхности функции

Помимо трехмерных графиков поверхности, нажатие соответствующих кнопок на панели *Графики* приводит к созданию графика линий уровня, трехмерной гистограммы, трехмерного распределения точек или векторного поля (рис. 4.21).

В Mathcad есть несколько столбчатых типов графиков, подходящих для построения гистограмм. Три различных типа иллюстрируются на рис. 4.22.

Для того, чтобы из гладких зависимостей на рисунке получить различные варианты гистограмм, нужно в диалоговом

окне *Форматирование выделенного графика* на вкладке *Трассировка* в выпадающем списке *Type* присвоить им тип *bar*, *solibar* или *stem* (рис. 4.23).

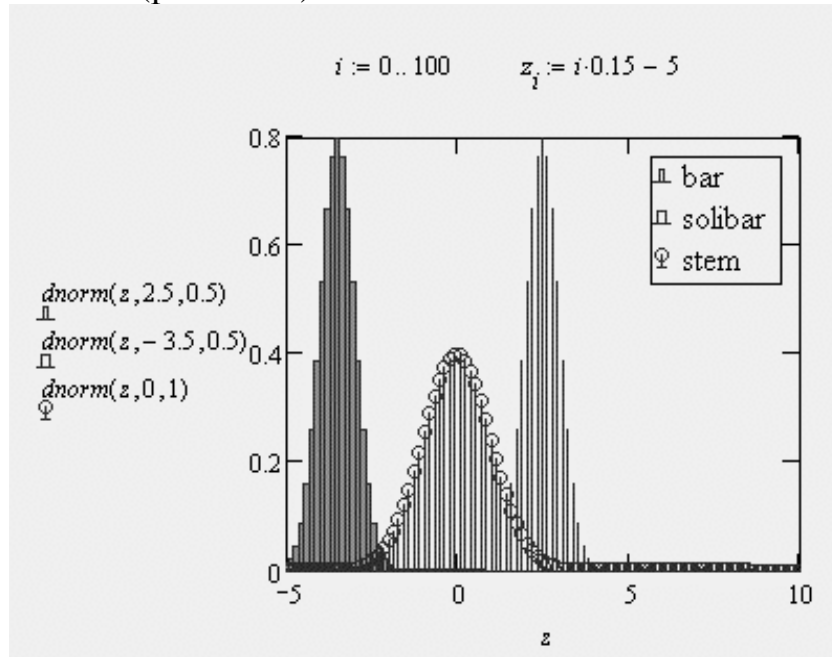


Рис. 4.22. Столбчатые типы графиков

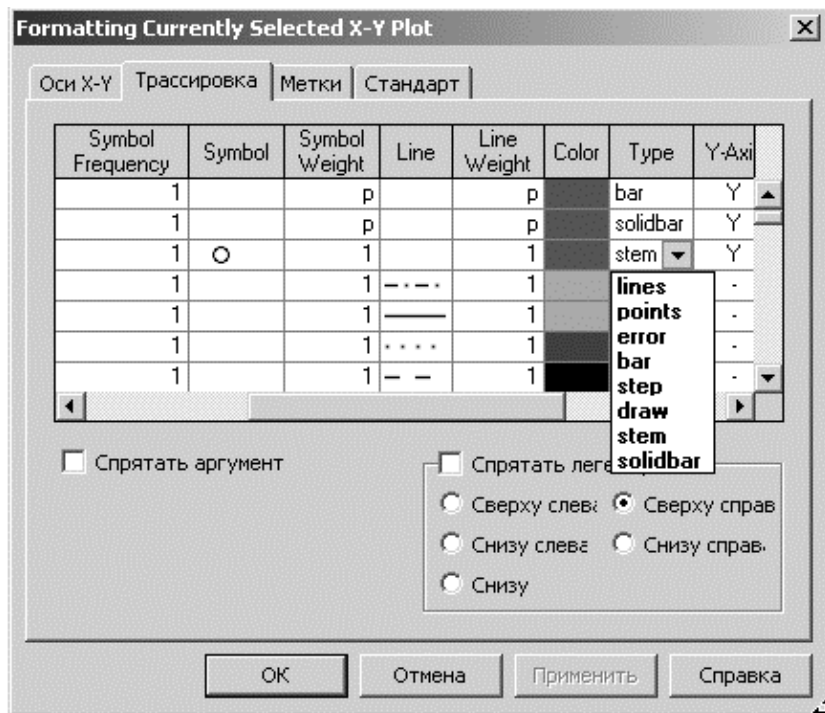


Рис. 4.23. Выбор типа столбчатого графика

Тип графика с отложенными ошибками довольно сильно



отличается от остальных типов, поскольку требует не двух, а трех серий данных. Помимо пар декартовых ( $XU$ ) или полярных координат точек необходимо задать еще две последовательности данных, представляющих соответствующие значения ошибок для каждой пары точек (рис. 4.24). График представления данных с погрешностями требует, чтобы два последовательных ряда данных имели тип графика с ошибками (errors).

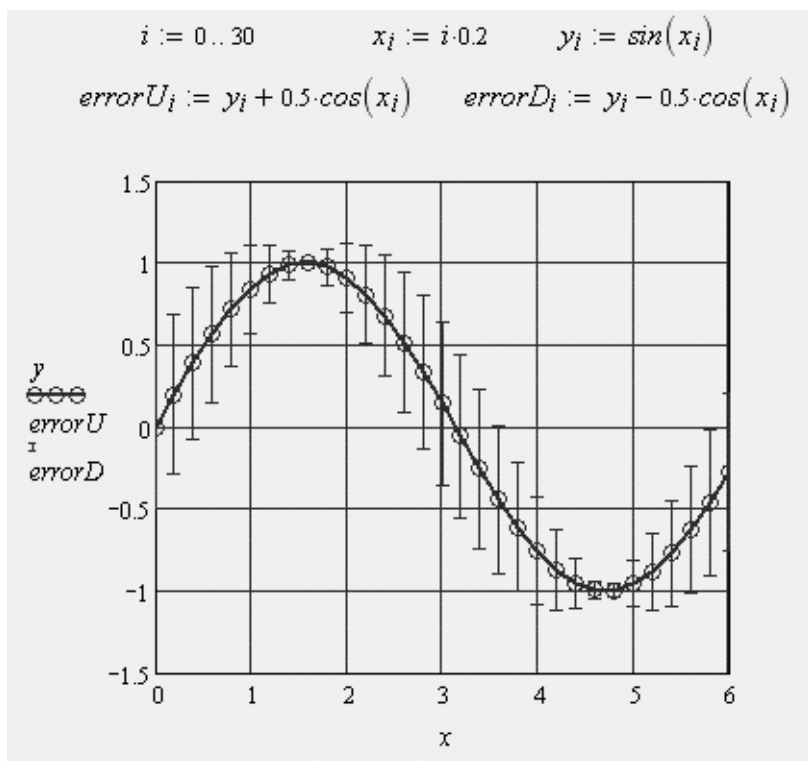


Рис. 4.24. Создание графика с отложенными ошибками

На рис. 4.24 отложено три ряда данных:  $y$  (сами данные),  $errorU$  (верхняя метка ошибок),  $errorD$  (нижняя метка ошибок). Для двух последних рядов выставлен тип  $error$  (ошибки).

**4.1.5.7. Гистограммы.** Гистограммой называется график, аппроксимирующий по результатам многократных измерений случайной величины плотность их распределения. При построении гистограммы область значений случайной величины ( $a, b$ ) разбивается на некоторое количество  $bin$  сегментов, а затем подсчитывается процент попадания данных в каждый сегмент. Для построения гистограмм в Mathcad имеется несколько встроенных функций. Если нет необходимости задавать сегменты гистограммы разной ширины, то удобнее воспользоваться упрощенным

вариантом функции  $histogram(bin, x)$  – матрица гистограммы размера  $bin \times 2$ , состоящая из столбца сегментов разбиения и столбца частоты попадания в них данных, где  $bin$  – количество сегментов построения гистограммы;  $x$  – вектор результатов измерений. Пример использования функции  $histogram$  приведен на рис. 4.25.

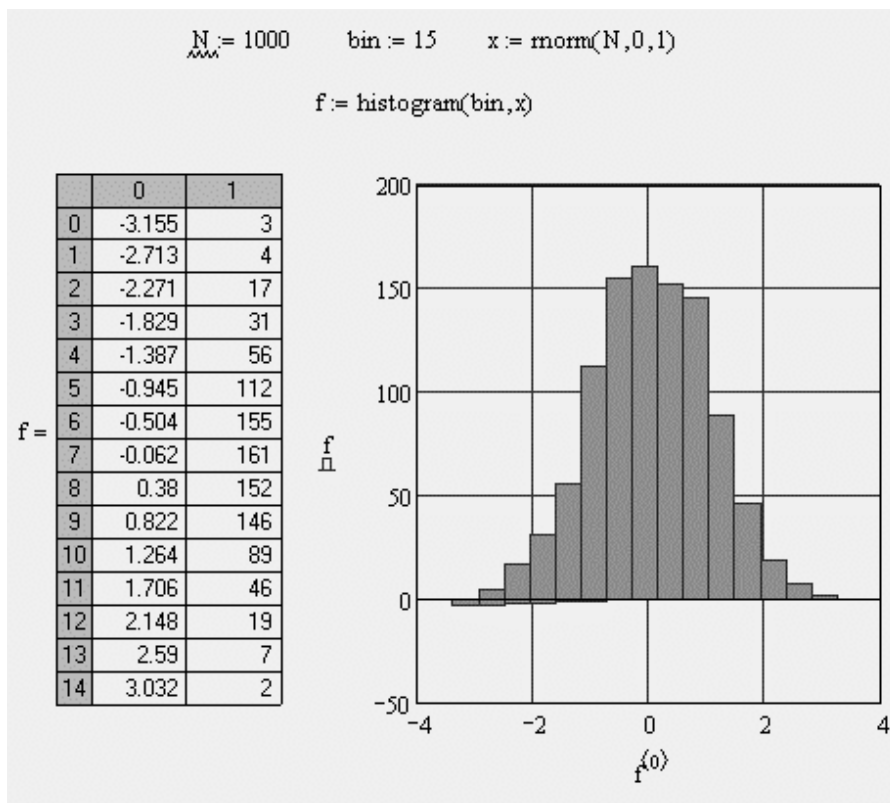


Рис. 4.25. Матрица и гистограмма нормально распределенной функции

Для того чтобы назначить двумерному графику тип гистограммы, в диалоговом окне *Форматирование* установите во вкладке *Графики* тип списка *bar* (Столбцы) или *solidbar* (Гистограмма). На рис. 4.25 применены установки второго типа: закрашенными столбиками (*solidbar*).

#### 4.1.6. Основы программирования инженерных расчетов

Основными инструментами работы в Mathcad являются математические выражения, переменные и функции. Нередко записать формулу, использующую ту или иную внутреннюю логику, в одну строку не удастся. Назначение программных модулей как раз и заключается в определении выражений,

переменных и функций в несколько строк, часто с применением специфических программных операторов.

Традиционное программирование, упрощенный вариант которого применен в Mathcad и осуществляется при помощи панели инструментов *Программирование*, имеет существенные преимущества, которые в ряде случаев делают документ более простым и читаемым:

- возможность применения циклов и условных операторов;
- простота создания функций и переменных, требующих нескольких простых шагов;
- возможность создания функций, содержащих закрытый для остального документа код, включая преимущества использования локальных переменных и обработку исключительных ситуаций.

Программный модуль обозначается в Mathcad вертикальной чертой, справа от которой последовательно записываются операторы языка программирования. Чтобы начать создание программного модуля, следует после символа присваивания нажать на панели *Программирование* кнопку *Add Line* (Добавить линию). Можно создать нужное количество линий повторными нажатиями кнопки *Add Line*.



Рис. 4.26. Начало создания программного модуля

В появившиеся местозаполнители введите желаемый программный код, используя программные операторы. После того как программный модуль полностью определен и ни один местозаполнитель не остался пустым, функция может использоваться обычным образом как в численных, так и в символьных расчетах.

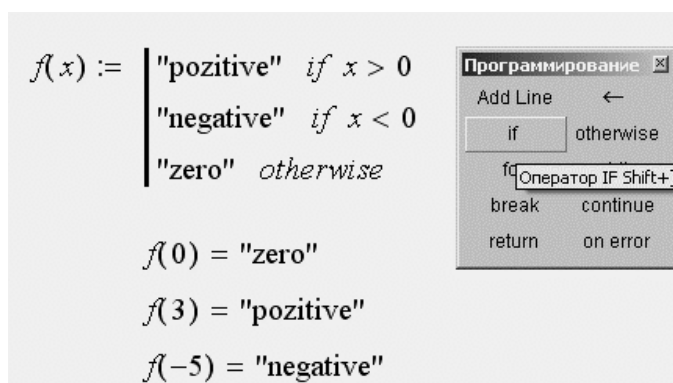


Рис. 4.27. Пример простейшей программы

Не вводите с клавиатуры имена программных операторов. Для их вставки можно применять лишь сочетания клавиш, которые приведены в тексте всплывающей подсказки.

Вставить строку программного кода в уже созданную программу можно в любой момент с помощью той же самой кнопки *Add Line*. Для этого следует предварительно поместить на нужное место внутри программного модуля линии ввода. Если передвинуть вертикальную линию ввода из начала строки в ее конец, то новая линия появится после строки. Если выделить строку не целиком, а лишь некоторую ее часть, то это повлияет на положение в программе новой строки кода.

Не забывайте, что для желаемого размещения линий ввода внутри формулы можно использовать не только мышь и клавиши со стрелками, но и пробел. С помощью последовательных нажатий пробела линии ввода «захватывают» разные части формулы.

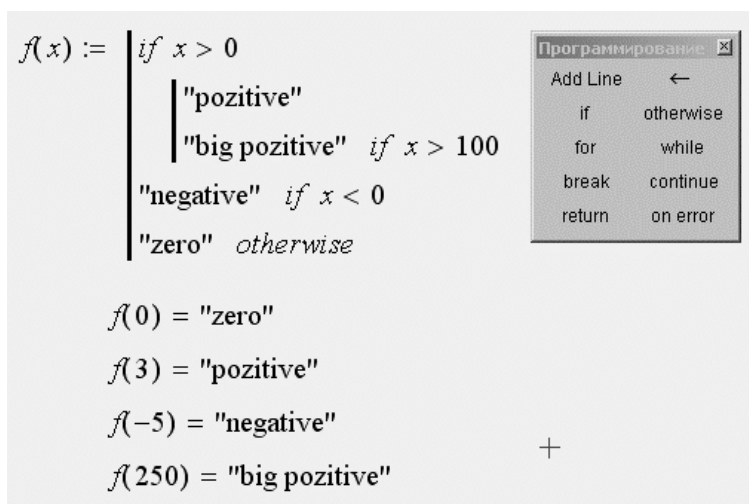


Рис. 4.28. Пример усовершенствования программы

В режиме выполнения программы выполняется последовательно каждая строка кода. Рассмотрим работу каждой строки кода рис. 4.28 на примере  $x = 3$ . Поскольку  $x = 3$ , то условие первой строки  $x > 0$  выполнено, поэтому выполняются обе следующие строки, объединенные короткой вертикальной чертой в общий фрагмент. Функции  $f(x)$  присваивается значение  $f(x) = \text{«pozitive»}$ . Условие  $x > 100$  не выполнено, поэтому значение «big pozitive» не присваивается  $f(x)$ , и она так и остается равной строке «pozitive». Условия двух последних строк не выполняются, поэтому ничего не происходит и оператор otherwise (англ. – иначе) не понадобился.

Таким образом, основной принцип создания программных модулей заключается в правильном расположении строк кода. Ориентироваться в их действии довольно легко, так как фрагменты кода одного уровня сгруппированы в программе с помощью вертикальных черт.

Язык программирования Mathcad не был бы эффективным, если бы не позволял создавать внутри программных модулей локальные переменные, которые «не видны» извне, из других частей документа. Присваивание в пределах программ, в отличие от документов Mathcad, производится с помощью оператора *Локальное присваивание*, который вставляется нажатием кнопки с изображением стрелки ( $\leftarrow$ ) на панели *Программирование*.

**Ни оператор присваивания «:=», ни оператор вывода «=» в пределах программ применять не разрешается.**

В Mathcad 13 переменным, которые впервые появляются в программных модулях, по умолчанию присваивается значение 0. В прежних версиях пакета использование переменных в программах без предварительного присваивания им значений приводило к генерации ошибки.

Локальное присваивание иллюстрируется листингом 4.5. Переменная  $z$  существует только внутри программы, выделенной вертикальной чертой. Из других мест документа получить ее значение невозможно. На этом же листинге можно видеть пример применения оператора цикла *for*.

**Листинг 4.5. Локальное присваивание в программе**

```
x := | z ← 0
      | for i ∈ 0, 1.. 5
      | z ← z + i
x = 15
```

Описание программы-функции размещается в рабочем документе и включает в себя имя программы-функции, список формальных параметров и тело программы-функции.

Каждая программа-функция Mathcad имеет оригинальное имя, благодаря которому осуществляется обращение к этой программе-функции. Через это же имя (***и только через это имя***)

«возвращается» в рабочий документ результат выполнения программы-функции.

После имени программы-функции идет список формальных параметров, заключенный в круглые скобки. Через формальные параметры «внутри» программы-функции «передаются» данные, необходимые для выполнения вычислений внутри программы. В качестве формальных параметров могут использоваться имена простых переменных, массивов и функций. Формальные параметры отделяются друг от друга запятой.

Тело программы-функции включает в себя любое число операторов, локальных операторов присваивания, условных операторов и операторов цикла, а также вызов других программ-функций и функций пользователя.

**Условные операторы (*if*, *otherwise*).** Действие условного оператора *if* состоит из двух частей. Сначала проверяется логическое выражение (условие) справа от него. Если оно истинно, выполняется выражение слева от оператора *if*. Если ложно – ничего не происходит, а выполнение программы продолжается переходом к ее следующей строке. Вставить условный оператор в программу можно, создав новую строку программного кода после добавления строки нажатием кнопки *Add Line* на панели *Программирование* (рис. 4.29). Нажмите кнопку условного оператора *if*. Справа от оператора *if* введите условие. Пользуйтесь логическими операторами, вводя их с панели *Булевы операторы*. Выражение, которое должно выполняться, если условие истинно, введите слева от оператора *if*.

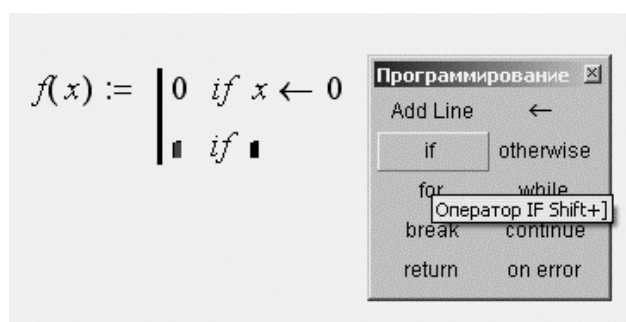


Рис. 4.29. Вставка условного оператора

Если в программе предусматриваются дополнительные условия, добавьте в программу еще одну строку нажатием кнопки *Add Line* и введите их таким же образом, используя оператор *if* или *otherwise*.

Оператор *otherwise* используется совместно с одним или несколькими условными операторами *if* и указывает на выражение,

которое будет выполняться, если ни одно из условий не оказалось истинным.

**Операторы цикла (*for*, *while*, *break*, *continue*).** В языке программирования Mathcad имеются два оператора цикла: *for* и *while*. Первый из них дает возможность организовать цикл по некоторой переменной, заставляя ее пробегать некоторый диапазон значений. Второй создает цикл с выходом из него по некоторому логическому условию. Чтобы вставить в программный модуль оператор цикла, создайте в программном модуле новую линию, вставьте один из операторов цикла *for* или *while* нажатием одноименной кнопки на панели *Программирование*.

Если выбран оператор *for*, то вставьте в соответствующие местозаполнители имя переменной и диапазон ее значений, а если *while* – то логическое выражение, при нарушении которого должен осуществляться выход из цикла.

Иногда необходимо досрочно завершить цикл, т. е. не по условию в его заголовке, а в некоторой строке в теле цикла. Для этого предназначен оператор *break*. Чтобы четче обозначить границы завершения тела цикла, в его конце может использоваться дополнительная строка с оператором *continue*, который вводится одноименной кнопкой панели *Программирование*.

Модификации листингов рис. 4.30 с прерыванием цикла оператором *break* и дополнительной строкой с оператором *continue* приведены на рис. 4.31.

```

Оператор цикла for с ранжированной переменной
x := | z ← 0
      | for i ∈ 1..5
      | z ← z + i
x = 15

Оператор цикла for с вектором
y := | z ← 0
      | for i ∈ (1 2 3)
      | z ← z + i
y = 6

Оператор цикла while
u := | z ← 0
      | while z < 10
      | z ← z + 1
      +
u = 10

```

Рис. 4.30. Программы с операторами *for* и *while*

```

u := | z ← 0
      | while z < 10
      | | z ← z + 1
      | | break if z > 6
u = 7

w := | z ← 0
      | while z < 10
      | | z ← z + 1
      | | continue
w = 10

```

Рис. 4.31. Программы с операторами *break* и *continue*

Если для определения переменной или функции применяется программный модуль, то его строки исполняются последовательно при вычислении в документе этой переменной или функции. Соответственно, по мере выполнения программы рассчитываемый результат претерпевает изменения. В качестве окончательного результата выдается последнее присвоенное значение. Чтобы подчеркнуть возврат программным модулем определенного значения, можно взять за правило делать это в последней строке программного модуля. Вместе с тем, можно прервать выполнение программы в любой ее точке и выдать некоторое значение, применив



оператор *return*. В этом случае при выполнении указанного условия значение, введенное в местозаполнитель после *return*, возвращается в качестве результата, и никакой другой код больше не выполняется. Вставляется в программу оператор *return* с помощью одноименной кнопки панели *Программирование*.

В качестве первого примера на рис. 4.32 приведена программа расчета коэффициента парной корреляции, который вычисляется по формуле

$$R_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (4.1)$$

Коэффициент парной корреляции  $R_{(x,y)}$  характеризует уклонение корреляционной связи между двумя признаками от линейной функциональной зависимости.

Величина коэффициента корреляции может изменяться в пределах от нуля до плюс-минус единицы. При  $R_{(x,y)} = 0$  случайные величины  $X$  и  $Y$  взаимно независимы. При  $R_{(x,y)} = 1$  одна величина однозначно и полностью определяет другую, одна полностью выражается через другую, изменения одной полностью объясняются и описываются изменениями другой.

В примере рассматривается некая реакция, отдельные реализации которой синхронно фиксируют температуру (первый признак), продолжительность (второй признак) и выход продукта реакции (третий признак). Обработке подвергаются семь реализаций с целью определить, какой признак больше всего влияет на выход продукта.

Анализ полученной корреляционной матрицы показывает, что время (продолжительность реакции) оказывается более значимым фактором ( $R_{3,2} = 0,587$ ), чем температура ( $R_{3,1} = 0,364$ ).

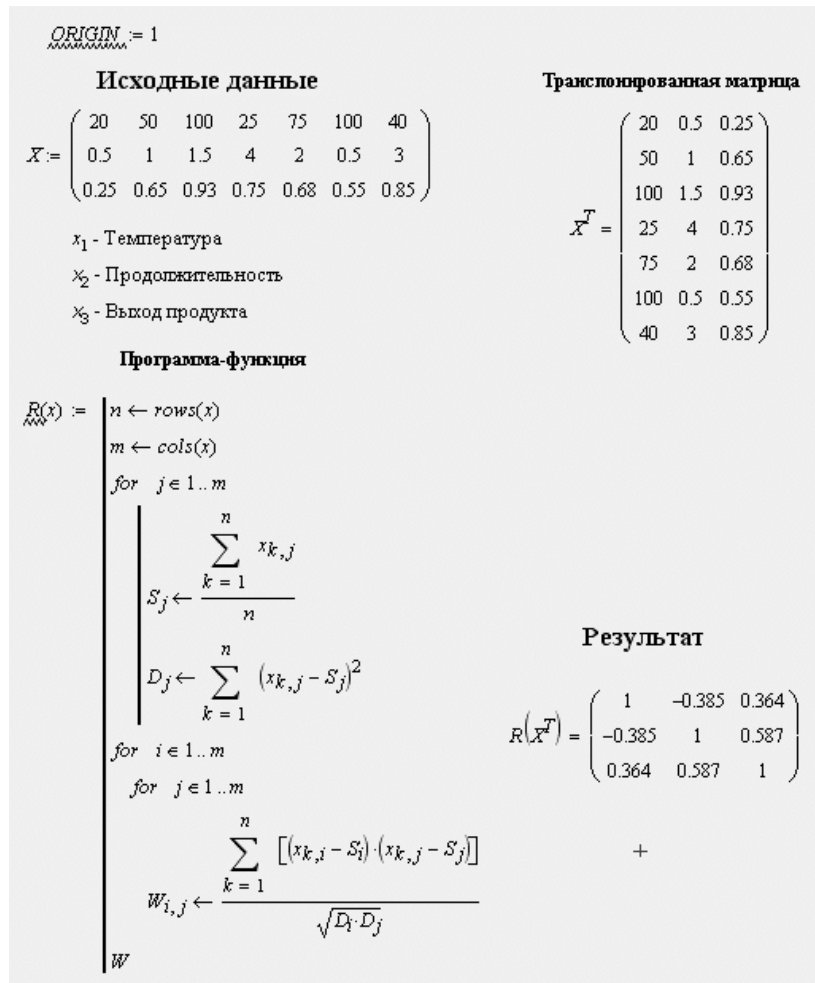


Рис. 4.32. Программа получения корреляционной матрицы

Второй пример (рис. 4.33) демонстрирует составление простейшей программы для работы с массивами, когда во внутреннюю область массива размерности  $5 \times 5$  нужно вставить массив другой размерности.

```

ORIGIN := 1
Вставка массива B в массив A
A := identity(5)      B := ( 3 2 1 )
                       ( 1 2 3 )
Место вставки        строка      r := 3
                       столбец    c := 2
C := | A ← A
     | "Передача массива в программу"
     | for i ∈ 1..rows(B)
     |   for j ∈ 1..cols(B)
     |     Ar+i-1, c+j-1 ← Bi, j
     | A

```

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 4.33. Вставка массива в массив

В программах рис. 4.32 и 4.33 автоматически определяемые переменные *rows()* и *cols()* обозначают число строк и число столбцов в обрабатываемых массивах.

## 4.2. Приложение Microsoft Excel

### 4.2.1. Основные основы

Работа в режиме электронных таблиц Excel возвращает компьютеру роль большого калькулятора, панель которого заменена окном в виде огромной «пустографики», способной принять ввод команд и расчетных формул. Исходные данные и найденные по формулам ответы на экране в таблице «разложены по полочкам» и хранятся совместно на одном рабочем листе в отдельных клетках, визуально имитирующих ячейки оперативной памяти компьютера. Наличие уникального адреса превращает каждую клетку в аналог переменной в языках программирования, причем тип хранящихся в ней данных заранее не определен, а распознается таблицей при вводе по составу информации.

Основой программы является вычислительный модуль, с помощью которого выполняется обработка текстовых и числовых данных в таблицах. В Microsoft Excel содержится большое количество

стандартных формул, называемых функциями. Функции используются для простых или сложных вычислений. Область применения программы не ограничивается сферой деловой жизни. Мощные математические и инженерные функции Excel позволяют решать множество задач для большинства курсовых работ. Поэтому в данном учебном пособии мы рекомендуем приложение Excel как компонент интегрированной офисной системы. При объединении ее с другими программами, такими как, например, редактор текста Word или графический редактор Visio, она представляет максимальный интерес.

**4.2.1.1. Рабочее пространство.** Рабочая книга Excel может содержать пять типов листов: рабочие листы, листы диаграмм, листы модулей языка Visual Basic, листы диалоговых окон, листы макросов.

Изображение, появляющееся на экране после запуска Microsoft Excel, состоит из пяти областей: окно рабочей книги, которое занимает самую большую часть экрана; строка меню; две или более панелей инструментов; строка формул; строка состояния. Эти пять областей экрана составляют рабочее пространство (рис. 4.34).

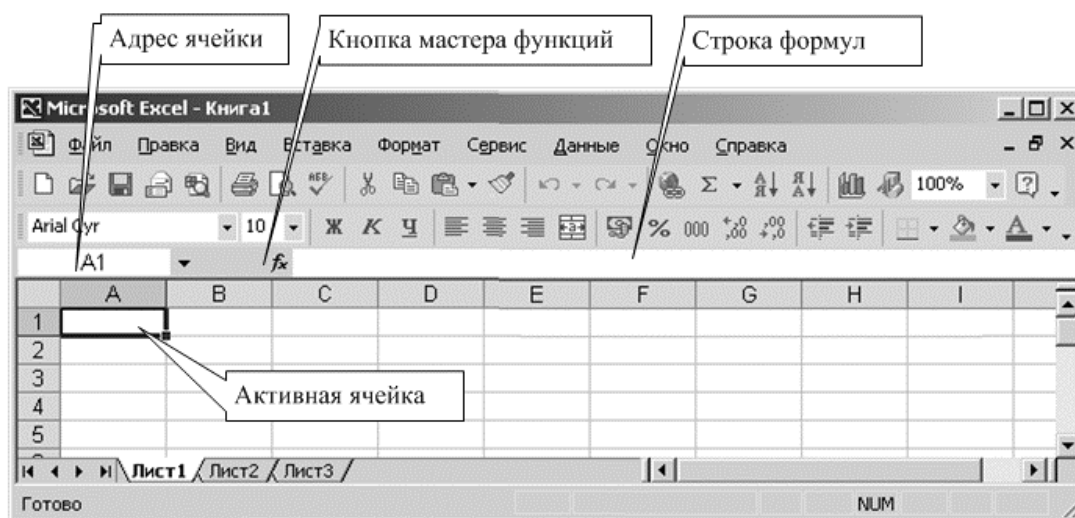


Рис. 4.34. Рабочее пространство Microsoft Excel

Любой лист поделен на сетку, состоящую из строк и столбцов. Число строк может достигать 65 536, а число столбцов – 256. Каждому столбцу соответствует буква, а каждой строке – цифра. Пересечение строки со столбцом называется ячейкой (*cell*), причем каждая из них имеет собственное имя, иногда называемое адресом ячейки. Например, на пересечении столбца A и строки 1 находится ячейка A1.

Книга представляет собой файл, содержащий один или несколько листов, которые можно использовать для размещения разнообразных сведений и установления между ними необходимых связей.

В нижней части книги находятся ярлыки, дающие доступ к различным листам. Excel позволяет присваивать листам имена, добавлять новые, а также удалять пустые и устаревшие листы. Каждая книга имеет полосы прокрутки, с помощью которых можно перемещаться между листами, а также по пространству активного листа.

**4.2.1.2. Модель ячейки.** Главным системообразующим элементом в Microsoft Excel является ячейка, которая имеет сложную многоуровневую информационную структуру (рис. 4.35).

Верхний уровень – это изображение на экране монитора. Там отображаются отформатированные значения, так же как текст или результат вычислений.

Скрытое форматирование сохраняется на втором информационном уровне ячейки.

Третий уровень содержит формулу, которая может состоять из текста, числа или математического выражения.

Назначив имя ячейке с помощью главной панели инструментов (*Вставка => Имя*), можно вставлять содержимое этой ячейки в любом месте рабочей книги. Причем можно вставлять эти имена в формулы при их редактировании, например = G7/Всего.

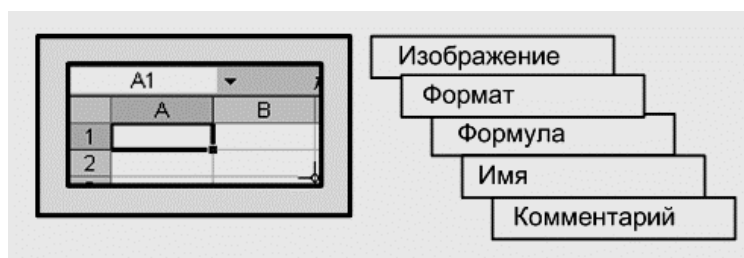


Рис. 4.35. Модель ячейки

Большое облегчение в работе представляют комментарии в ячейках, ввести которые в ячейку можно с помощью меню *Вставка => Примечание*. Тогда при набегании курсора на эту ячейку появляется всплывающая подсказка с текстом комментария.

#### 4.2.2. Управление свойствами ячеек

Термином «форматирование» обозначается задание типа данных, содержащихся в ячейке, которое является очень важным при вычислениях. Если программа распознает 3/4 как дробное число, а не

как дату, вы сможете использовать содержимое этой ячейки в вычислениях, но при этом потеряете возможность применить к ней некоторые функции, ориентированные на работу с датами.

**4.2.2.1. Выравнивание.** Ключом к началу форматирования в Excel является команда *Ячейки* меню *Формат*. Перед ее применением нужно выделить одну или несколько ячеек. В результате появится окно диалога *Формат ячеек*, содержащее шесть вкладок с различными параметрами форматирования. Доступ к параметрам выравнивания текста и его ориентации открывается на вкладке *Выравнивание*, как показано на рис. 4.36.

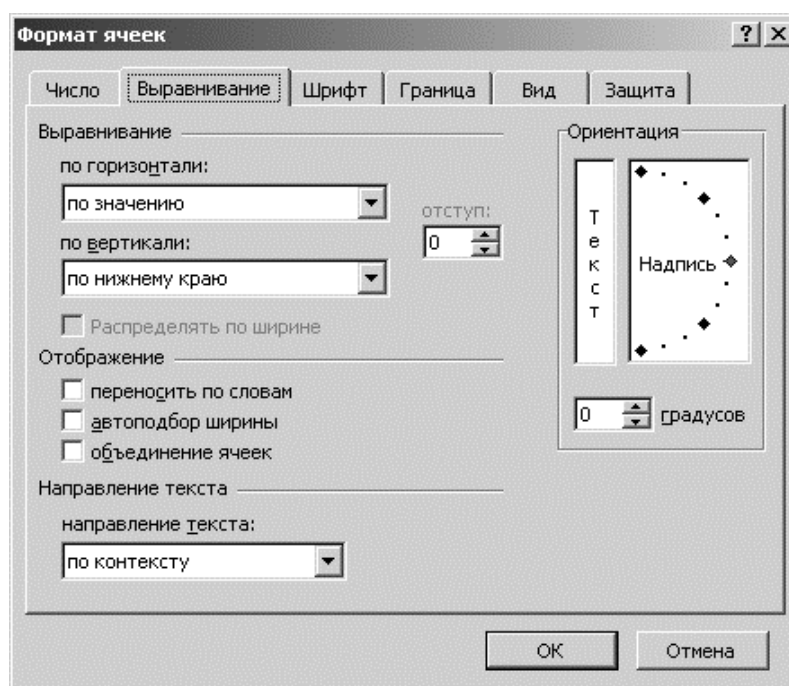


Рис. 4.36. Окно диалога *Формат ячеек*, открытое на вкладке *Выравнивание*

Окно диалога *Формат ячеек* можно также вызвать, щелкнув правой кнопкой мыши на любой из выделенных ячеек и выбрав в появившемся контекстном меню команду *Формат ячеек*.

Для изменения горизонтального положения текста в ячейке выберите подходящий вариант выравнивания в раскрывающемся списке *По горизонтали* на вкладке *Выравнивание* окна диалога *Формат ячеек*. По умолчанию в нем выбран вариант *По значению*. Это значит, что выравнивание информации зависит от ее типа: текст выравнивается по левому краю, а цифры – по правому. Выбор вариантов *По левому краю*, *По правому краю* и *По центру* помещает

данные указанным образом вне зависимости от того, к какому типу они принадлежат. Так же можно выровнять текст по горизонтали с помощью кнопок панели инструментов *Форматирование*.

Выбор варианта *С заполнением* приводит к тому, что данные, введенные в ячейку, повторяются до тех пор, пока не заполнят всю ячейку целиком. При этом реально информация содержится только в первой ячейке. Этот вариант применим лишь при форматировании текста по горизонтали. При выборе варианта *По ширине* текст равномерно распределяется в границах ячейки, причем слова в длинном тексте автоматически переходят на новую строку. Включить и выключить перенос текста можно с помощью флажка *Переносить по словам*.

Если выбран вариант *По центру*, выделенные данные будут перемещены таким образом, чтобы оказаться в центре выделенного набора ячеек. Получить сходный результат можно, выделив ячейки и щелкнув на кнопке *Объединить и поместить в центре* панели инструментов *Форматирование*. Повторное нажатие этой кнопки снимает форматирование. Кроме того, ячейки, объединенные последним способом, рассматриваются программой как одна ячейка. Например, если нажатием кнопки *Объединить и поместить в центре* были объединены ячейки B2, C2 и D2, они будут фигурировать в поле *Имя* под одним именем B2. Кстати, чтобы эта команда работала правильно, все выделенные ячейки, кроме первой, должны быть пустыми.

При выравнивании по горизонтали выбор варианта, после названия которого в скобках стоит слово *Отступ*, дает возможность задавать величину отступа текста от границ ячейки. Для этого используется счетчик *Отступ*.

Раскрывающийся список *По горизонтали* содержит еще один вариант выравнивания, отсутствовавший в предыдущих версиях Excel. Он называется *Распределенный*. Выравнивание, получаемое в данном случае, похоже на выравнивание *По ширине*, но при этом высота ячейки увеличивается таким образом, чтобы весь текст был виден одновременно. Не до конца заполненные строки не выравниваются по левому краю, а оказываются растянутыми на всю ширину ячейки.

На вкладке *Выравнивание* также находится раскрывающийся список *По вертикали*, с помощью которого можно менять вертикальное положение текста в ячейке. По умолчанию в этом списке выбрано значение *По нижнему краю*, означающее, что текст прижат к нижней

границе ячейки. Однако зачастую лист может выглядеть намного лучше при использовании вариантов выравнивания *По центру* или *По верхнему краю*.

Для принудительного переноса текста на новую строку применяется комбинация клавиш *Alt + Enter*. С ее помощью можно контролировать места переносов. При этом, разумеется, ячейка должна быть достаточно широкой, чтобы в ней поместился текст заданной длины.

Если ячейка содержит несколько строк текста, то лучше использовать варианты выравнивания *По высоте* и *Распределенный*, при необходимости увеличивая высоту ячейки. При вертикальной ориентации текста действие распределенного выравнивания и выравнивания по высоте остается таким же, как и в случае горизонтального текста.

**4.2.2.2. Ориентация текста.** На вкладке *Выравнивание* находится еще один инструмент для изменения ориентации текста в ячейке. В поле *Ориентация* можно перетащить маркер поворота в нужном направлении или задать точное значение угла в расположенном ниже текстовом поле.

Щелчок на панели с вертикальной надписью *Текст* приводит к повороту на 90 градусов не надписи в целом, а каждой из составляющих ее букв. Этот полезный и визуально интересный эффект используется для написания заголовков столбцов, особенно если текст недлинный.

**4.2.2.3. Числовые форматы.** В Excel можно поменять представление числа в ячейке, выбрав параметры форматирования на вкладке *Число* окна диалога *Формат ячеек*. Если первая из выделенных ячеек содержит число, программа покажет его в поле *Образец* для иллюстрации изменения формата.

Для создания собственного формата нужно открыть окно диалога *Формат ячеек* и выбрать в списке *Числовые форматы* вариант *Все форматы*. Затем можно или выбрать вариант формата в списке типов и в текстовом поле *Тип* изменить его нужным вам образом, или ввести свой формат в это текстовое поле (рис. 4.37).



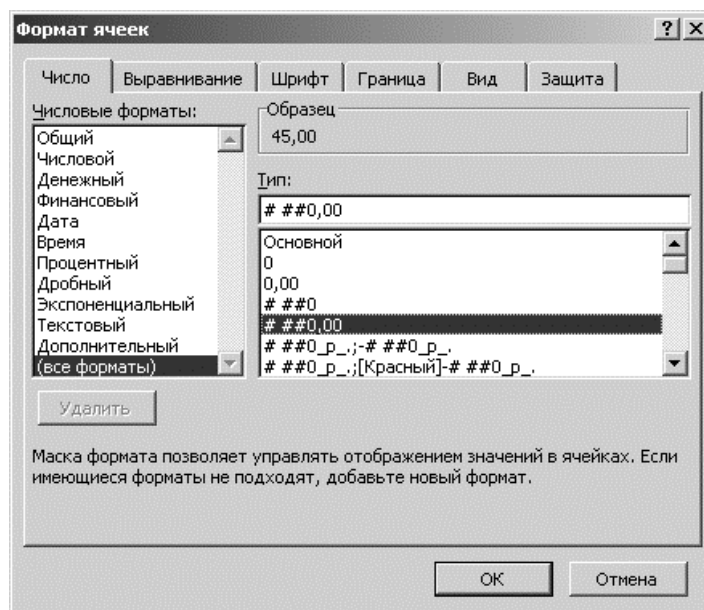


Рис. 4.37. Использование и изменение числовых форматов

#### 4.2.2.4. Выделение информации добавлением границ.

Выделить информацию можно не только изменением параметров шрифта (тип, начертание, размер, цвет и т. д.), но и добавлением границ к выделенным ячейкам. Сделать это можно на вкладке *Граница* окна диалога *Формат ячеек*, показанного на рис. 4.38.

Можно сделать границы ячейки видимыми в виде сплошных или пунктирных линий, а также разделить ячейку по диагонали.

Для задания границы выделенной ячейки сначала нужно выбрать один из четырнадцати вариантов линий в списке *Тип линии*. Выбор варианта *Нет* приводит к удалению существующей границы. Затем с помощью кнопок, расположенных в разделе *Отдельные*, указать, к какой части выделенного диапазона относится линия. Также можно использовать кнопки раздела *Все*:

- *Нет* (для удаления существующей границы);
- *Внешние* (для показа внешних границ выделенного набора ячеек);
- *Внутренние* (для показа внутренних границ выделенных ячеек).

Для изменения цвета границы используется раскрывающийся список *Цвет*. Сначала нужно выбрать цвет, а потом уже указывать тип границы.

**4.2.2.5. Цвет фона.** После добавления границ к ячейке можно также изменить цвет ее фона. Для этого используется вкладка *Вид* окна диалога *Формат ячеек*. Можно не только изменить цвет фона ячейки, но и выбрать цветной узор в раскрывающемся списке *Узор*.

Цвет хорошо дополняет документ и великолепно смотрится в электронной презентации. Иногда заливка цветом каждой второй

строки облегчает восприятие информации.

Чтобы посмотреть, как будет выглядеть лист после распечатки, выберите команду *Предварительный просмотр* меню *Файл*. Для заливки выделенных ячеек можно также использовать кнопку *Цвет заливки* панели инструментов *Форматирование*. Для возвращения выделенным ячейкам исходного цвета выберите команду *Нет заливки*.

**4.2.2.6. Копирование форматов.** Иногда бывает необходимо скопировать формат одной ячейки в другую, не кодируя при этом данных. Это можно сделать с помощью кнопки *Формат по образцу* панели инструментов *Стандартная*. Выделите ячейку, формат которой нужно скопировать. Нажмите кнопку *Формат по образцу*. Вокруг выделенной ячейки появится мерцающая рамка, а рядом с указателем мыши – значок в виде кисти.

Выделите диапазон ячеек, которые нужно отформатировать.

Если вы решили не применять скопированный формат, используйте команду *Отмена* меню *Правка*, чтобы снять форматирование. Убрать мерцающую рамку вокруг выделенной ячейки можно, нажав клавишу *Esc*.

Для копирования формата в отстоящие на некотором расстоянии друг от друга ячейки дважды щелкните на кнопке *Формат по образцу* и по очереди выделите все ячейки. Когда закончите выделение, щелкните на этой кнопке еще раз.

**4.2.2.7. Изменение ширины столбцов и высоты строк.** При использовании заданного по умолчанию шрифта Arial Суг размером 10 пт в ячейку помещается восемь цифр. Ячейки листа обычно автоматически меняют размер, чтобы вместить вводимое в них число. Исключение составляют случаи, когда ширина столбца намерено уменьшается. В этом случае в ячейке появляются символы переполнения – #####. Ширину столбца можно легко изменить. Это осуществляется как простым перетаскиванием границ ячеек мышью, так и с помощью команд меню *Формат*. Для изменения ширины столбца перетащите его правую границу кнопкой мыши. Для этого поместите указатель мыши на правую границу заголовка столбца и, когда он примет вид двунаправленной стрелки, щелкните кнопкой мыши и переместите границу столбца. Таким же способом изменяется высота строк. Чтобы ввести точное значение ширины столбца или высоту строки, воспользуйтесь командами меню *Формат*. Выбор команд *Столбец* и *Строка* приводит к появлению дополнительного меню, в котором нужно выбрать соответственно варианты *Ширина* и

*Высота*. В первом случае появится окно диалога *Ширина столбца*. Задав в нем определенное число, вы укажете число символов, которые будут умещаться в ячейке при использовании заданных по умолчанию шрифтов. Во втором случае появится окно диалога *Высота строки*, в котором можно задать новую высоту ячеек. Для того чтобы все столбцы вашего листа приобрели заданную по умолчанию (или стандартную) ширину, выберите вариант *Стандартная ширина* в подменю, появляющемся при выборе команды *Столбец* меню *Формат*, и напечатайте нужную ширину. Таким способом можно изменить ширину каждого столбца в листе или каждого выделенного столбца. Это хороший способ сделать размер ячеек единообразным.

**4.2.2.8. Скрытие строк и столбцов.** Можно использовать метод изменения размера, чтобы полностью скрыть один или несколько столбцов или строк. Если сделать ширину столбца равной нулю, он скроется из виду. В некоторых случаях это бывает нужно, например, чтобы защитить данные от просмотра посторонними лицами или просто чтобы убрать их из поля зрения в процессе работы над листом. Также можно скрыть столбцы и строки с помощью команды *Скрыть*, которая находится в подменю, появляющемся при выборе команд *Столбец* и *Строка* меню *Формат*. Чтобы сделать скрытые столбцы или строки видимыми, выделите столбцы или строки, расположенные по обе стороны от скрытых, и воспользуйтесь командой *Отобразить*, расположенной в том же подменю. Чтобы программа автоматически подбирала ширину столбцов, используйте команду *Автоподбор ширины*, расположенную в подменю команды *Столбец*. После этого программа изменит ширину всех столбцов в соответствии с размером самой широкой записи. Если в столбце выделена группа ячеек, ширина столбца изменится в соответствии с самой широкой записью в группе. При изменении размера и типа шрифта программа автоматически изменяет высоту строк, так что в данном случае функция автоподбора не так полезна. Тем не менее, при выделении строки и выборе команды *Автоподбор высоты* из подменю команды *Строка* высота строки изменяется в соответствии с самым высоким символом.

**4.2.2.9. Условное форматирование.** Полезной функцией в Excel является возможность использования условного форматирования. Это форматирование, параметры которого зависят от содержимого ячеек. Можно подчеркнуть важные данные, основываясь на условиях, заданных в окне диалога *Условное форматирование*.

#### **4.2.3. Управление свойствами листа и книги**

**4.2.3.1. Параметры страницы.** На вкладке *Поля* окна диалога *Параметры страницы* можно менять ширину полей книги. По умолчанию ширина полей сверху и снизу – 2,5 см, а справа и слева – 2 см. При изменении значения любого из счетчиков в центральном окошке показывается поле, положение которого подвергается корректировке. Настройка полей имеет особое значение при печати бланков или документов, содержащих графику или текст, который вы не хотите печатать повторно. Чтобы центрировать содержимое документа по горизонтали или по вертикали, воспользуйтесь флажками *горизонтально* и *вертикально*.

**4.2.3.2. Настройка параметров редактирования.** Чтобы изменить ответ программы на редактирующие действия, можно воспользоваться параметрами вкладки *Правка* окна диалога *Параметры* (рис. 4.38). Для отмены возможности редактирования ячеек снимите флажок *Правка* прямо в ячейке. В этом случае двойной щелчок на ячейке не будет приводить к помещению в нее курсора. Отключение этой функции желательно, если при выделении диапазонов ячеек вы часто случайно производите двойной щелчок кнопкой мыши. После снятия данного флажка редактировать содержимое ячеек можно будет только в строке формул. Похожую функцию выполняет флажок *Перетаскивание ячеек*. Если вы часто перетаскиваете ячейки ненамеренно, то имеет смысл его снять. Мы рекомендуем никогда не снимать флажок *Предупреждать* перед перезаписью ячеек, чтобы избежать непредумышленного размещения одних данных поверх других.

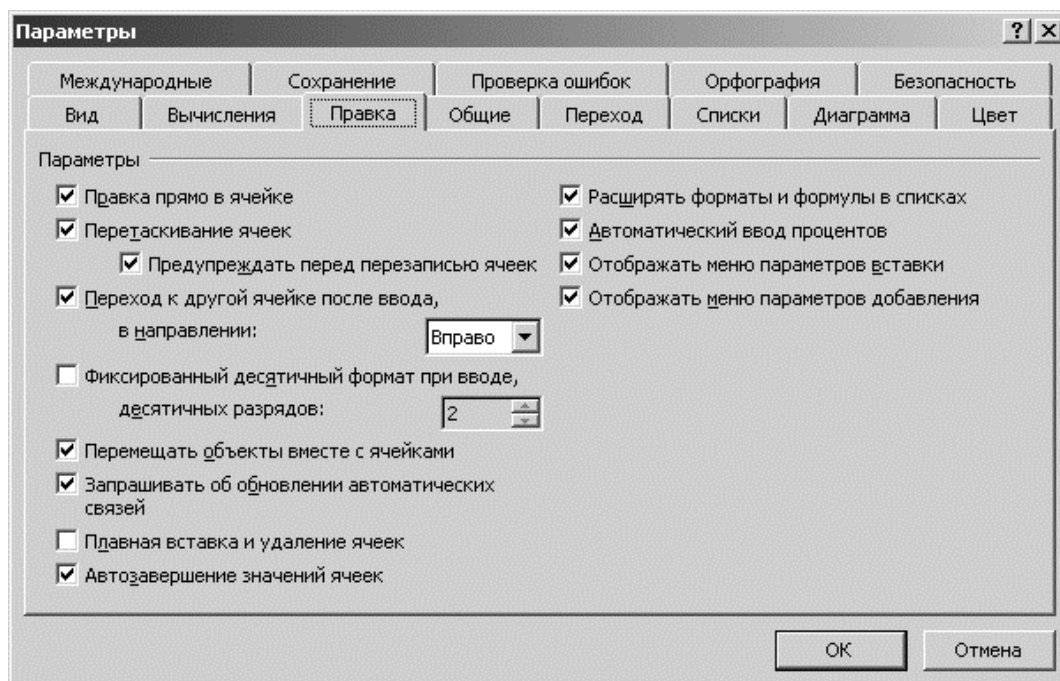


Рис. 4.38. Окно диалога *Параметры*, открытое на вкладке *Правка*

При вводе данных в ячейки одной строки предпочтительно сделать так, чтобы после нажатия клавиши *Enter* происходил переход к ячейке, расположенной справа, а не внизу. Для этого нужно выбрать вариант *Вправо* из раскрывающегося списка *В направлении*, расположенного под флажком *Переход к другой ячейке после ввода*.

**4.2.3.3. Выделение ячеек.** Существует несколько команд Excel, предназначенных для работы с отдельными ячейками или их группами. Выделение ячейки означает перевод ее в активное состояние. В результате имя этой ячейки появляется в поле *Имя*, расположенном слева от строки формул. Выделить одну или несколько ячеек можно как с помощью клавиатуры, так и мышью. Чтобы облегчить процесс выделения диапазона ячеек, ему можно присвоить имя, которое затем просто вводится в текстовое поле *Имя*. При выделении диапазона ячеек вокруг них появляется жирная рамка, а цвет ячеек изменяется с белого на оттенок синего. В предыдущих версиях Excel цвет выделенных ячеек был черным. В математических выражениях диапазон ячеек обозначается как имя ячейки, расположенной в левом верхнем углу, после которого через двоеточие стоит имя ячейки, расположенной в правом нижнем углу диапазона. Например, выражение *A1 : E1* соответствует столбцу из пяти ячеек; результат выделения 40 ячеек описывается выражением *A1 : E8*.

**4.2.3.4. Поиск и замена данных.** Команда *Найти* меню *Правка*

используется как для поиска данных, так и для их замены (рис. 4.39 и 4.40).

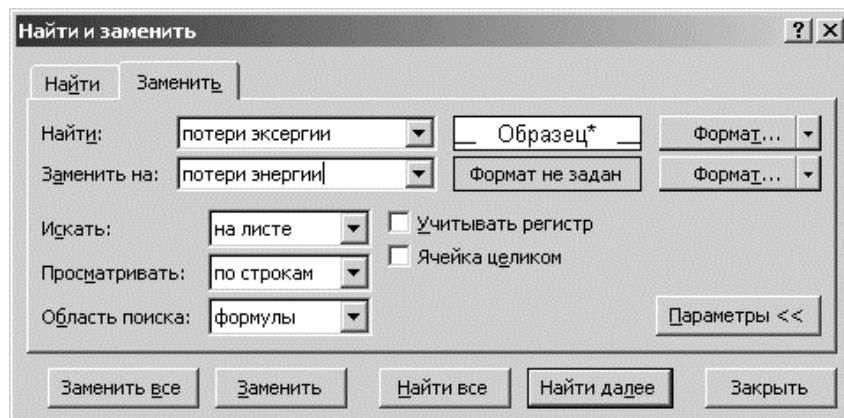


Рис. 4.39. Окно диалога Заменить

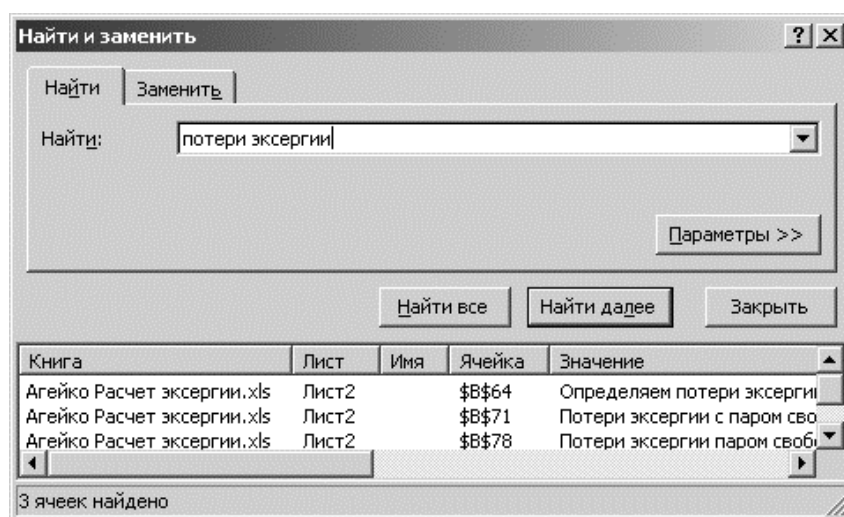


Рис. 4.40. Результат поиска по кнопке *Найти все*

Поиск позволяет точно определить строку символов и переместиться в место, где она находится. В качестве строки могут фигурировать любые комбинации символов – слово или его часть, числовое значение, имя ячейки или их диапазона и даже функции и операторы, используемые в формулах. После нахождения строки программа позволяет произвести автоматическую замену ее содержимого. Для этого используется вкладка *Заменить* диалогового окна *Найти и заменить*. Задание параметров на вкладке *Заменить* ускоряет процесс поиска, так как сужает его область. Можно указать, например, регистр букв в строке поиска. При установленном флажке *Ячейка целиком* программа ищет только ячейки, содержимое которых

в точности совпадает со строкой поиска. В Excel 2002 можно также указывать формат строки поиска и строки замены. При щелчке на любой из кнопок *Формат* выбор осуществляется или вручную, или путем щелчка на ячейке с заранее заданным форматом. С помощью раскрывающегося списка *Искать* можно указать, следует ли осуществлять поиск в пределах одного листа или по всей книге. Нажатие кнопки *Найти все* приводит к появлению в нижней части диалогового окна списка всех подходящих значений, как показано на рис. 4.40. Выделение любого из пунктов этого списка приводит к выделению соответствующей ему ячейки. Таким способом можно сделать замену ее содержимого.

**4.2.3.5. Перемещение данных командами *Вырезать* и *Вставить*.** Иногда бывает нужно переместить содержимое группы ячеек из одной части листа в другую. Это можно сделать с помощью команд *Вырезать* и *Вставить* меню *Правка*. В результате выполнения первой команды вокруг выделенной группы ячеек появляется мерцающая рамка, а их содержимое, включая форматирование и комментарии, перемещается на временное хранение в буфер обмена. К сожалению, за один раз можно переместить только одну группу ячеек. Выделить несколько расположенных на некотором расстоянии групп и переместить их на новое место невозможно. После выделения нового местоположения и выбора команды *Вставить* меню *Правка* ячейки из буфера обмена помещаются на новое место. Чтобы отменить перемещение, нажмите клавишу *Esc*. В отличие от остальных приложений Office, в Excel только один раз можно вставить вырезанное содержимое ячеек на новое место. Чтобы сделать это неоднократно, используйте вместо команды *Вырезать* команду *Копировать*. Альтернативными способами выполнения команд *Вырезать* и *Вставить* являются нажатие одноименных кнопок панели инструментов *Стандартная* или комбинаций клавиш *Ctrl + <X>* и *Ctrl + <V>*.

**4.2.3.6. Использование буфера обмена.** После копирования или вырезания нескольких кусков информации в буфер обмена его содержимое появляется на панели задач. Если оно не появится автоматически, выберите команду *Буфер обмена* меню *Правка*. Буфер обмена является инструментом редактирования. В нем можно временно разместить до 24 элементов из любого числа документов Microsoft Office или других приложений, а затем вставить их в любые документы Microsoft Office. По мере добавления элементов в буфер обмена в галерее буфера отображаются записи о них, при этом запись

о последнем добавленном элементе всегда показывается в начале списка. После копирования в буфер двадцать пятого элемента первый удаляется. Чтобы вручную удалить какой-либо элемент из буфера, поместите на него указатель мыши, и когда справа появится кнопка со стрелкой, щелкните на ней. В появившемся меню выберите команду *Удалить*. Для полной очистки буфера щелкните на кнопке *Очистить все*. Для вставки любого из содержащихся в буфере элементов в лист выделите ячейку и щелкните на элементе, который нужно вставить. Соответственно, щелчок на кнопке *Вставить все* приведет к вставке в последовательность ячеек всех элементов буфера. Имейте в виду, что отмена результатов данной операции возможна только поэлементно.

**4.2.3.7. Перемещение ячеек перетаскиванием.** Быстрее всего можно переместить группу ячеек, просто перетащив их на новое место. Используя технику «перетащить и оставить», можно редактировать лист эффективным и наглядным способом. Для этого нужно выделить группу ячеек и затем поместить указатель мыши на границу выделенной области. Когда он примет форму белой стрелки, нажмите левую кнопку мыши и перетащите указатель на новое место. Как только кнопка мыши будет отпущена, ячейки изменят свое местоположение. Чтобы скопировать ячейки таким способом, удерживайте клавишу *Ctrl* в процессе их перетаскивания. При этом рядом с указателем мыши, имеющим форму белой стрелки, появится знак «плюс», указывающий, что вы копируете данные. Если в процессе перетаскивания ячеек «положить» их на уже имеющиеся данные, появится окно диалога с вопросом, хотите ли вы заменить содержимое конечных ячеек. Если вы согласны на замену, нажмите кнопку *Ok*, а если вы предпочитаете найти для данных другое место, нажмите кнопку *Cancel*. Хорошим способом изменения положения ячеек является щелчок правой кнопкой мыши на границе выделенной области с последующим перетаскиванием указателя мыши. После того как вы отпустите кнопку мыши, появится меню, включающее в том числе и команды *Переместить*, *Копировать* и *Отменить*.

**4.2.3.8. Вставка в лист строк и столбцов.** Иногда возникают ситуации, когда нужно добавить новые строки или столбцы ячеек. Это можно сделать, выбрав команду *Строки* и *Столбцы* меню *Вставка*. В результате этой операции существующие строки смещаются вниз, а существующие столбцы – вправо. При изменении порядка следования столбцов и строк в листе можно избежать дополнительного шага в виде создания пустых столбцов и строк. Выделите строку или столбец, положение которого нужно изменить, и выберите команду



*Вырезать* меню *Правка* или нажмите комбинацию клавиш *Ctrl + <X>*. Вокруг выделенной группы ячеек появится мерцающая рамка. Затем выделите строку, расположенную ниже места вставки, или столбец, расположенный справа от него, и выберите команду *Вырезанные ячейки* меню *Вставка*. После этого область, ограниченная рамкой, будет перенесена в намеченное место. Excel облегчает задачу ввода в ячейки повторяющегося значения или наборов значений, называемых прогрессиями, что помогает сохранить время при вводе в отчет групп слов, чисел или дат. Например, можно скопировать одну и ту же цену продукта в несколько ячеек. Также Excel может самостоятельно продолжать прогрессию, основываясь на установленном образце.

**4.2.3.9. Использование автозаполнения.** Для ввода повторяющихся или изменяющихся стандартным образом значений используйте свойство *Автозаполнение*. Для начала поместите указатель мыши на маркер *Автозаполнения* – маленький черный квадратик, расположенный в правом нижнем углу выделенной ячейки. То, что указатель мыши примет форму жирного черного креста, означает включение функции автозаполнения. Для создания прогрессии текста, чисел или дат выделите несколько ячеек, чтобы определить образец, и, щелкнув на маркере автозаполнения, перетащите указатель мыши, выделяя ячейки, которые нужно заполнить данными. Когда вы отпустите кнопку мыши, в выделенных ячейках будут находиться новые значения.

**4.2.3.10. Проверка типовых ошибок.** За годы работы с пользователями были выделены семь ошибок, чаще всего встречающихся при вводе данных. Их список можно найти на вкладке *Проверка ошибок* окна диалога *Параметры*, показанного на рис. 4.41.

Чтобы проверить лист на наличие типичных ошибок, используйте команду *Проверка наличия ошибок* меню *Сервис*. Если программа находит потенциальную ошибку, появляется окно диалога, как показано на рис. 4.42. Оно содержит сообщение о том, где находится и в чем заключается ошибка, а также предлагает способы ее решения. После того как текущая ошибка была исправлена или проигнорирована, с помощью кнопок *Назад* и *Далее* можно вернуться к предыдущей ошибке или перейти к следующей. Можно отключить проверку любой из семи типичных ошибок, сняв соответствующий флажок на вкладке *Проверка ошибок* окна диалога *Параметры*. Также при желании можно отключить фоновую проверку ошибок.

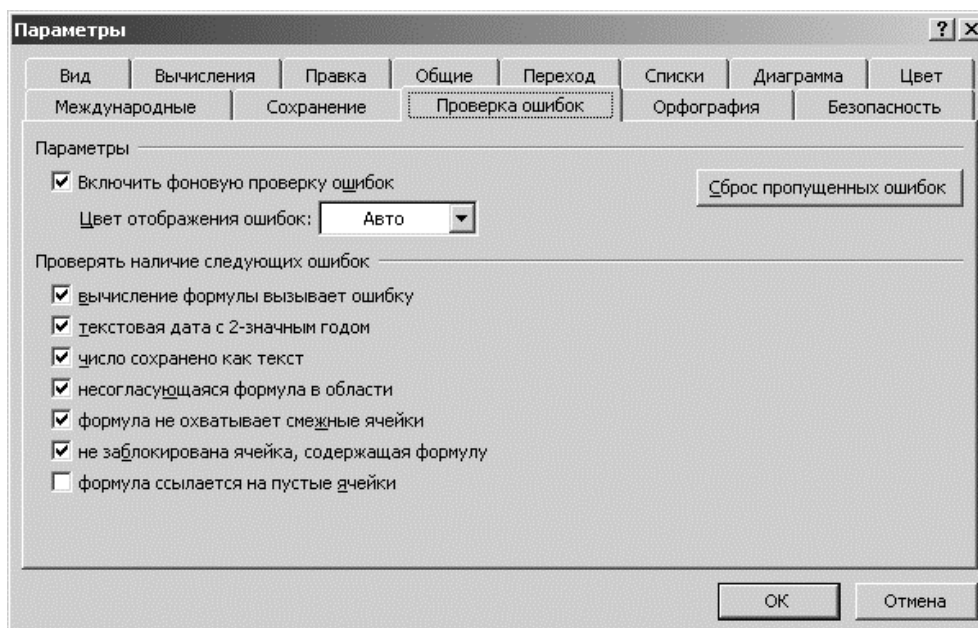


Рис. 4.41. Диалоговое окно *Проверка ошибок*

|    | A  | B                | C                              | D                              | E     | F    | G               | H     | I     | J                  | K                   | L |
|----|--|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|-------|-------|--------------------|---------------------|---|
| 1  | Химический состав исходных материалов  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 2  | компоненты   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>2</sub> | П.П.П | Сумма | силикатный модуль, | алюминатный модуль, |   |
| 3  | известняк  | 0,69             | 1,15                           | 0,59                           | 54,15 | 0,49 | 0,12            | 43,4  | 100   | 0,397              | 1,949               |   |
| 4  | глина  | 73,79            | 14,98                          | 3,65                           | 2,71  | 1,75 | 0,29            | 2,83  | 100   | 3,961              | 4,104               |   |
| 5  | колчед.огарки  | 13,94            | 1,44                           | 78,4                           | 2,1   | 0,22 | 3,1             | 0,8   | 100   | 0,175              | 0,018               |   |
| 6  |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 7  | <div data-bbox="411 1115 1216 1451" style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p><b>Контроль ошибок</b></p> <p>Ошибка в ячейке E3<br/>0,59</p> <p>Число сохранено как текст<br/>Число в этой ячейке отформатировано как текст, или перед ним стоит апостроф.</p> <p>Преобразовать в число</p> <p>Справка по этой ошибке</p> <p>Пропустить ошибку</p> <p>Изменить в строке формул</p> <p>Параметры...</p> <p>Назад      Далее</p> </div> |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 8  |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 9  |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 10 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 11 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 12 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 13 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 14 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 15 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 16 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 17 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 18 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 19 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 20 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 21 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |
| 22 |  |                  |                                |                                |       |      |                 |       |       |                    |                     |   |

4.42. Окно диалога с обнаруженной типовой ошибкой

## 4.2.4. Приемы работы

**4.2.4.1. Ввод информации.** Приложение Excel позволяет вводить информацию следующего типа:

- числовые значения;
- текстовые значения;
- даты и время;
- комментарии;
- формулы;

- гиперссылки;
- графические фрагменты, фотографии, карты и т. п.

**4.2.4.2. Ввод числовых значений.** Для ввода числовых значений выделите ячейку, введите число и нажмите клавишу *Enter*. В процессе набора числа оно одновременно появляется в активной ячейке и в строке формул. Строка формул служит не только для ввода чисел и формул, но и для редактирования. Если вы сделали ошибку при вводе длинного числа, щелкните в том месте строки формул, где допущена ошибка, и исправьте ее. Таким образом, вы будете избавлены от необходимости повторного ввода. То же самое можно сделать непосредственно в ячейке, щелкнув на ней два раза. Слева от строки формул находится кнопка *Отмена*, щелчок на которой удаляет введенную информацию. Это работает только до момента нажатия клавиши *Enter*, фиксирующего введенную информацию. Рядом находится кнопка *Ввод*, щелчок на которой заменяет нажатие клавиши *Enter*. Вводимые значения могут быть целыми (32), десятичными дробями (499,95), обыкновенными дробями ( $103/4$ ) или числами в экспоненциальном представлении ( $4,09E+13$ ). При вводе чисел можно использовать ряд математических символов, включая плюс (+), минус (-), проценты (%), дробь (/), экспоненту (E), а также знак доллара (\$). Если вы вводите слишком большое число, которое не помещается в ячейку, программа автоматически изменяет ее ширину или переводит число в экспоненциальное представление. Ряд значков # в ячейке означает, что для просмотра числа нужно вручную увеличить ее ширину. При вводе дробных чисел убедитесь, что введена целая часть числа, а между целой и дробной частями стоит пробел. В противном случае Excel интерпретирует дробное число как дату. Например, если ввести 3/4 вместо 03/4, программа воспримет это как дату 4 марта. Всегда можно посмотреть на действительный вид введенного числа. Он показывается в строке формул при активизации ячейки. По умолчанию числовые значения выровнены по правому краю ячейки. Если планируется ввести несколько чисел, используйте кнопки со стрелками, чтобы одновременно с вводом числа осуществить переход к следующей ячейке.

**4.2.4.3. Ввод текста.** Включение в текст курсовой работы фрагментов рабочего листа Excel с обычным форматированием ячеек резко отличается по стилю от документа Microsoft Word. Поэтому для того, чтобы работу сделать более привлекательной, можно порекомендовать вставлять текстовые комментарии в электронные таблицы с помощью панели рисования (вставка надписи) или с

помощью редактора Microsoft Word (вставка объекта); в этом случае всю работу можно выполнять в среде Excel и сохранять в формате \*.xls. Вставки в формате \*.doc придают контрольной или курсовой работе вид обычного документа со всеми возможностями специфического форматирования. Например, в этом случае можно вставить формулу с помощью Equation. А фрагменты Excel позволяют производить программные вычислительные эксперименты. Для ввода в ячейку текстового значения выделите ячейку, напечатайте текст и нажмите клавишу *Enter*. Текстовое значение может представлять собой любую комбинацию прописных и строчных букв, чисел и символов. Они выравниваются по левой границе ячейки. Если соседние ячейки не содержат никакой информации, появляется возможность ввести длинный текст, вызвав тем самым перекрывание ячеек. Если же находящаяся справа ячейка содержит какое-то значение, показываемый текст обрывается. При этом полную версию текстового значения можно посмотреть в строке формул, выделив ячейку. Если нужно ввести число в качестве текстового значения, поставьте перед ним одинарную кавычку. Например, число '55 будет выровнено по левой границе ячейки, при этом кавычка исчезнет, а в строке формул она все равно будет присутствовать, указывая, что это не число, а текстовое значение. Числа, случайно введенные как текстовые значения, могут стать источником проблем, особенно если они используются в формуле. Для пометки ячеек, содержащих такие значения, программа вставляет предупреждающий комментарий. Чтобы его увидеть, выделите ячейку и поместите указатель мыши на появившийся слева от нее индикатор. Удалить комментарий можно, щелкнув на индикаторе правой кнопкой мыши и выбрав в появившемся меню команду *Пропустить ошибку*. Эта фоновая проверка, направленная на предупреждение потенциальных проблем, является новой функцией Excel 2002, которая называется *Проверка наличия ошибок*. Если программа опознала образец вводимого значения, она попытается предложить вам вариант его завершения, используя функцию *Автозавершение*. Это может сэкономить массу времени при вводе повторяющихся значений. Поэтому если вариант, предлагаемый программой, вам подходит, нажмите клавишу *Enter*.

**4.2.4.4. Ввод даты и времени.** Чтобы ввести в ячейку дату или время, используйте один из заданных форматов Excel. При этом программа распознает число как хронологическую единицу и применит соответствующее форматирование. Приложение Excel хранит даты как ряд последовательных номеров, что позволяет

выполнять над ними вычисления. По умолчанию день 1 января 1900 года имеет номер 1, а 1 января 2008 года – номер 39 448, так как интервал в днях между этими датами составляет 39 448. Для изменения формата ячейки выберите команду *Ячейки* меню *Формат* и раскройте появившееся окно диалога на вкладке *Число*. Затем выберите подходящий образец в категориях *Дата* и *Время*.

**4.2.4.5. Ввод комментариев.** Поскольку выполненные курсовые работы предстоит использовать будущим поколениям студентов, имеет смысл снабдить наиболее важные ячейки примечаниями.

Чтобы добавить всплывающее примечание, выделите ячейку и выберите команду *Примечание* меню *Вставка*. Это приведет к появлению окна с курсором, в которое нужно ввести текст и затем щелкнуть на любой другой ячейке, чтобы зафиксировать примечание. Для изменения имени, которое появляется в окне для ввода примечания, выберите команду *Параметры* меню *Сервис* и, раскрыв появившееся окно диалога на вкладке *Общие*, введите новое имя в текстовое поле *Имя пользователя*. Ячейки с примечаниями обозначаются красным треугольником в правом верхнем углу. Для его просмотра поместите на ячейку указатель мыши. Имейте в виду, что введенные комментарии являются примечаниями и существуют в дополнение к содержимому ячейки, а не замещают его.

Для удаления комментария выделите его и выберите команду *Очистить* меню *Правка*, а затем в появившемся подменю – вариант *Примечания*. Можно сделать отображение примечаний постоянным как для отдельных ячеек, так и для всего листа. Для этого нужно выбрать команду *Примечания* меню *Вид*. Повторный выбор этой команды приводит к скрытию комментариев, чтобы их увидеть, нужно навести на ячейку указатель мыши. Для работы с примечаниями используется панель инструментов *Рецензирование*.

**4.2.4.6. Ввод формул.** Очевидные трудности возникают в представлении варианта курсовой работы в виде документа Excel, содержащего формулы, поскольку изображение ячеек не предусматривает визуализацию скрытых в них математических выражений. Чтобы преодолеть это затруднение, можно в тексте курсовой работы построить двухуровневую таблицу, где наряду с численной информацией можно указать формулы, по которым осуществлялся расчет. Формулы представляют собой выражения, по которым выполняются вычисления на странице. Формулы могут содержать числа, математические операторы, ссылки на другие ячейки и встроенные уравнения, называемые функциями. Достоинством Excel

является большой набор легких в использовании функций. Все формулы в Excel начинаются со знака «=». Например, формула для вычисления суммы трех чисел: = 10+20+50 (рис. 4.43).

|   | A | B | C  | D |
|---|---|---|----|---|
| 1 |   |   |    |   |
| 2 |   |   | 80 |   |
| 3 |   |   |    |   |

Рис. 4.43. Пример построения простейшей формулы

Вид формулы показан в строке формул, в ячейках же можно видеть только результат вычислений. Если не поставить в начале формулы знак «=», программа интерпретирует ее как текстовое значение и результат не будет вычислен. В этом случае нужно

нажать F2, чтобы начать редактирование ячейки, с помощью нажатия клавиши *Home* переместить курсор в начало формулы, напечатать знак «=» и нажать клавишу *Enter*. Формулы могут содержать ссылки, указывающие на ячейку или диапазон ячеек листа. Они передают программе сведения о расположении значений или данных, которые требуется использовать в формуле. Например, для сложения чисел, находящихся в ячейках B5 и B6, используется формула = B5+B6. На рис. 4.44 показан результат подобных вычислений.

|   | A  | B                     | C       | D     |
|---|--|-----------------------|---------|-------|
| 1 | <b>Данные о производительности цеха</b>                  |                       |         |       |
| 2 | Наименование прод.                                       | Производительность т. |         |       |
| 3 |  | в год                 | в сутки | в час |
| 4 | Портланд-цемент с минеральными добавками                 | 240000                | 657.5   | 32.2  |
| 5 | Сульфатостойкий портланд-цемент с минеральными добавками | 960000                | 2630    | 129   |
| 6 | Итого  | 1200000               | 3287.5  | 161.2 |
| 7 |  |                       |         |       |

Рис. 4.44. Создание формулы из табличных данных

Рассмотрим подробно процесс создания формулы. Выделите ячейку, в которую нужно ввести формулу. Пусть это будет, например, D8. В строке формул напечатайте знак «=». Щелкните на первой ячейке, значение которой будет использоваться в формуле, и затем напечатайте математический оператор. Например, щелкните на ячейке B5, а затем напечатайте «+». После щелчка на ячейке вокруг нее появляется мерцающая рамка, а ее имя появляется в строке формул. Рамка

перестает мерцать после того, как вы напечатаете оператор. И рамка, и имя ячейки в строке формул имеют синий цвет. Щелкните на второй ячейке, значение которой нужно использовать в формуле. Если она не видна в данный момент, воспользуйтесь ползунком прокрутки. Если нужно включить в формулу дополнительные математические операторы и имена ячеек, это можно сделать вышеописанным способом. Каждое изменение ячеек будет выделено своим цветом. Нажмите клавишу *Enter*, чтобы зафиксировать вид формулы. Программа вычислит ее результат и покажет его в выбранной на первом шаге ячейке В8. Если ячейки, значения которых включены в формулу, пусты, в ячейке В8 окажется нулевой результат. При желании можно вручную вводить имена ячеек в строку формул.

**4.2.4.7. Относительные и абсолютные адреса ячеек.** При копировании или переносе формул в них автоматически изменяются адреса. В большинстве случаев это очень удобно, но иногда этого не требуется. Чтобы избежать ошибок при вычислениях, относительный адрес в формуле перед копированием надо заменить на неподлежащий изменению абсолютный. Для этого нужно выделить ячейку, содержащую формулу, двойным щелчком мыши на строке формул, где содержится неизменяемый адрес ячейки, и нажать клавишу F4. После этого в формуле будет участвовать абсолютный адрес, например \$H\$8, и копирование формулы будет проходить корректно.

**4.2.4.8. Вставка графических фрагментов.** После ввода основных данных в книгу Excel ее можно украсить, добавив графические фрагменты. Выделите ячейку, в которую нужно поместить графический фрагмент. Убедитесь, что вокруг нее находятся незаполненные ячейки. Выберите команду *Рисунок* меню *Вставка*. Появится дополнительное меню, в котором нужно выбрать тип графического фрагмента. Графический фрагмент можно перемещать и при желании изменять его размер.

**4.2.4.9. Вставка фоновой графики.** Если созданная книга будет использоваться для отчета или презентации, имеет смысл несколько оживить ее, добавив неяркую картинку в качестве фона. При добавлении большого рисунка данные появляются поверх него. Если же выбран маленький рисунок, программа повторит его нужное число раз, чтобы заполнить всю поверхность листа. Для добавления фонового изображения нужно открыть книгу, к которой нужно добавить фон, выбрать команду *Лист* меню *Формат*, а затем в появившемся подменю – вариант *Подложка*. Появится окно диалога *Подложка*. Выберите подходящий рисунок и нажмите кнопку

*Вставить.*

**4.2.4.10. Вставка гиперссылок.** Excel дает возможность вставлять гиперссылки в создаваемые книги, связывая их тем самым с другими документами, расположенными на диске вашего компьютера, в Интернете или в локальной сети. С помощью гиперссылок можно соединить между собой набор различных книг Excel, а также предоставить пользователям возможность доступа к вспомогательным документам, веб-страницам и другим справочным материалам. Для вставки гиперссылки выделите ячейку, предназначенную для нее. Она может быть как пустой, так и содержащей информацию, рисунок или формулу. Выберите команду *Гиперссылка* меню *Вставка*, чтобы вызвать окно диалога *Добавление гиперссылки*, показанное на рис. 4.45. Альтернативным способом его вызова является нажатие кнопки *Добавление гиперссылки* панели инструментов *Стандартная* или комбинации клавиш *Ctrl + <К>*.

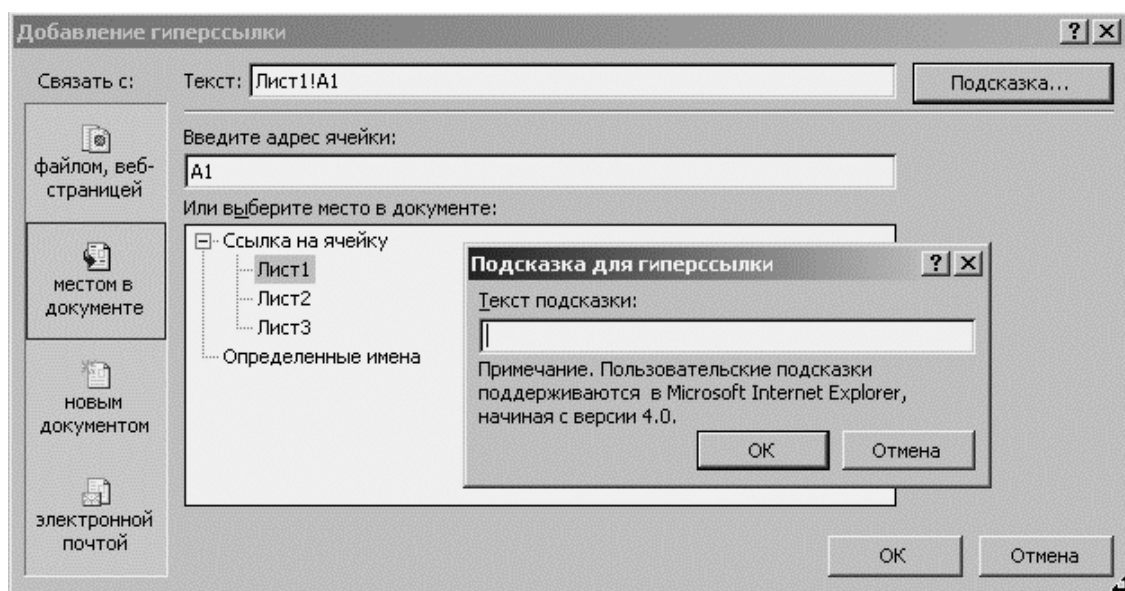


Рис. 4.45. Окно диалога *Добавление гиперссылки* с вызванным окном *Подсказка*

Укажите тип создаваемой вами гиперссылки, выбрав в области *Связать с*, расположенной с левой стороны окна диалога, один из четырех вариантов:

– *Файлом, Веб-страницей.* Книга Excel связывается с файлом, расположенным на диске компьютера или в Интернете.

– *Местом в документе.* Этот вариант используется, когда нужно быстро перейти из одного места текущего документа в другое.

– *Новым документом.* В этом случае можно быстро открыть



новый документ Office, например, другую книгу Excel, документ Word, презентацию PowerPoint и т. п. Это дает возможность быстро создавать примечания в процессе работы с книгой Excel.

- *Электронной почтой.* Автоматически запускает программу работы с электронной почтой и создает сообщение с правильным адресом в поле *Кому*.

Заполните поля окна диалога в соответствии с выбранным вами вариантом. Если вы нашли документ или веб-страницу, которые должны загружаться, когда пользователь щелкнет на гиперссылке, выделите его в списке, а в текстовое поле *Текст* введите название ярлыка. Это можно сделать, только если гиперссылка размещается в пустой ячейке. Если же ячейка содержит некоторую информацию, то считается, что ярлык уже задан. Нажмите кнопку *Подсказка* и введите в появившееся окно диалога текст подсказки, которая будет всплывать при наведении указателя мыши на гиперссылку. После указания всех параметров гиперссылки нажмите кнопку *Ок*, чтобы закрыть окно диалога *Добавление гиперссылки*. В выделенной ячейке появится подчеркнутая гиперссылка, как показано на рис. 4.46.

| Химический состав сырья |                  |                                |       |       |                   |                                |       |
|-------------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|-------|
| Материалы               | Компонент        |                                |       |       |                   |                                | П.П.П |
|                         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |       |
| Песок                   | 98,95            | 0,64                           | 0,58  | 0,00  | 0,00              | 0,13                           | -0,30 |
| Сода                    | 0,00             | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 57,20             | 0,00                           | 42,80 |
| Мел                     | 1,47             | 0,00                           | 53,90 | 0,00  | 0,00              | 0,60                           | 44,03 |
| Доломит                 | 3,20             | 2,57                           | 27,06 | 19,62 | 0,00              | 0,53                           | 47,02 |
| Тех. Глинс              | 0,10             | 0,00                           | 0,05  | 0,00  | 0,00              | 0,05                           | 1,30  |

Понижает коэффициент расширения стекла, повышает его механическую прочность, уменьшает склонность стекла к кристаллизации

Рис. 4.46. Вид гиперссылки после наведения на нее указателя мыши

Для перехода по ссылке щелкните ячейку, в которой она содержится. В результате Excel запустит приложение, необходимое для просмотра документа, к которому ведет ссылка.

Редактирование и удаление гиперссылок выполняются по щелчку на ссылке правой кнопкой мыши, чтобы вызвать контекстное меню данной ячейки. Выберите в меню команду *Изменить гиперссылку*, если нужно отредактировать ссылку. Для удаления, соответственно, используйте команду *Удалить гиперссылку*. Если в процессе создания книги была сделана ошибка, Excel предоставляет массу традиционных и новых способов ее исправления. Можно не только корректировать

опечатки, но и реорганизовывать данные, находить и заменять отдельные фразы, проверять наличие типичных ошибок ввода, заполнять ячейки данными и создавать пространство для дополнительной информации.

**4.2.4.11. Использование стилей.** Если вы раз за разом устанавливаете одни и те же параметры форматирования для ячеек листа, имеет смысл подумать о создании стиля форматирования, который можно сохранить и использовать в дальнейшем. После создания нового стиля или редактирования уже существующего можно применять его в текущей книге или скопировать в другую. Для создания стиля воспользуйтесь командой *Стиль* меню *Формат*. Она приводит к появлению окна диалога, показанного на рис. 4.47.

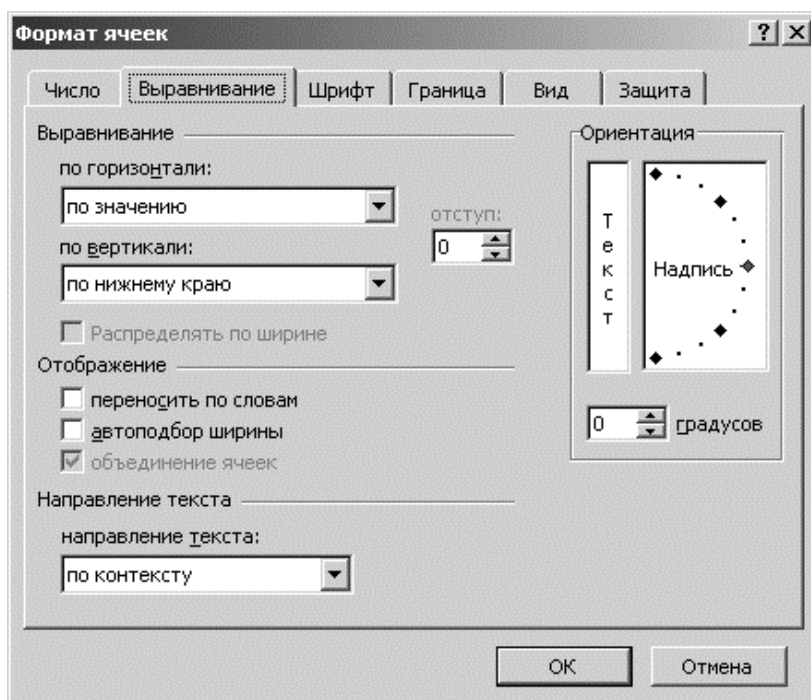
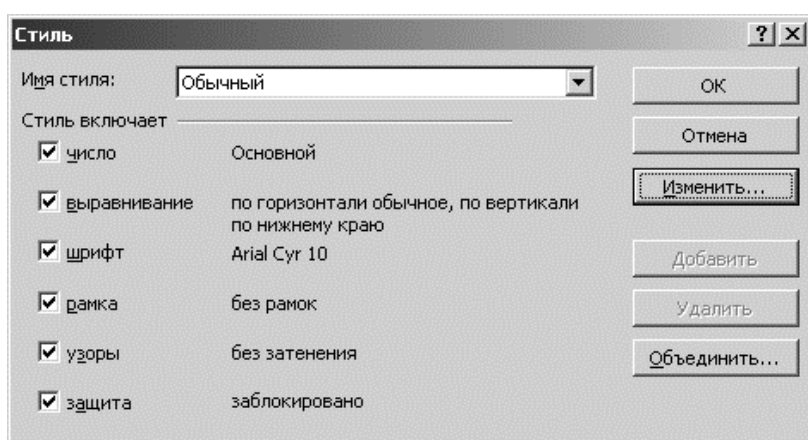


Рис. 4.47. Окно диалога *Стиль* и окно после нажатия клавиши *Изменить*

Если выделенные ячейки не были отформатированы, в раскрывающемся списке *Имя стиля* будет автоматически выбран вариант *Обычный*. В дополнение к нему в Excel имеется несколько заданных стилей. Чтобы изменить стиль, нажмите кнопку *Изменить*, выберите параметры нового стиля в появившемся окне диалога *Формат ячеек* и нажмите кнопку *Ок*.

#### **4.2.5. Организация вычислений**

**4.2.5.1. Построение формул.** Каждая формула начинается со знака равенства (=). Этот знак указывает программе, что следующие за ним символы являются частью формулы, которую нужно вычислить, а результат этих вычислений должен быть показан в ячейке. Если пропустить этот знак, Excel воспримет формулу как текст, и вычисление результата производиться не будет. Каждая формула использует один или несколько арифметических операторов. Однако эти операторы не являются необходимой принадлежностью любой формулы. Ее можно создать и с помощью одной или нескольких функций.

**4.2.5.2. Дублирование формул.** Приложение Excel позволяет легко копировать формулу в соседние ячейки, используя команды подменю, появляющегося при выборе в меню *Правка* команды *Заполнить*. При этом происходит автоматическая подстройка формулы таким образом, что она начинает соответствовать строкам и столбцам, в которые происходит копирование. Например, если вы копируете формулу в ячейки, расположенные ниже в столбце, программа изменяет номера строк, включая в них правильные ссылки на ячейки.

**4.2.5.3. Использование относительных и абсолютных ссылок.** При дублировании формул программа меняет ссылки на ячейки в соответствии с новым местоположением формулы. Так, ссылка на ячейку C8 в формуле, расположенной в ячейке D8, является относительной ссылкой. В данном случае происходит обращение к ячейке, расположенной слева от ячейки, содержащей формулу. То есть при копировании формулы в ячейку C9 в ней появится ссылка на ячейку D9. Если же использовать ячейку F12, появится ссылка на ячейку G12. Чтобы изменить такой порядок действий, нужно указать, что ссылка на ячейку является абсолютной. Это делается путем введения знака доллара (\$) перед индикаторами строки и столбца. Соответственно, формула =\$H\$8\*2

не будет изменяться при копировании ее в другую ячейку.

**4.2.5.4. Редактирование формул.** Приложение Excel позволяет редактировать формулы таким же способом, как и содержимое ячеек другого типа. Дважды щелкните на ячейке, локализируйте ошибку, используя мышь или клавиши со стрелками, внесите исправления и нажмите клавишу *Enter*. В процессе редактирования формулы можно вставить новую ссылку на ячейку, поместив курсор в строку формул и затем выделив новые ячейки. Обратите внимание, что Excel использует цвета для идентификации ссылок на ячейки в строке формул. Для отмены изменений нажмите клавишу *Esc*.

**4.2.5.5. Комбинация арифметических операторов.** Табл. 4.1 содержит полный список арифметических операторов, которые можно использовать в формулах. При наличии в формуле нескольких операторов программа следует стандартным алгебраическим правилам, чтобы определить, в каком порядке следует производить вычисления. По правилам сначала выполняется возведение в степень, затем следуют умножение и деление, а последними – сложение и вычитание.

Таблица 4.1

**Арифметические операторы в порядке их выполнения**

| Оператор | Название             | Пример    | Результат |
|----------|----------------------|-----------|-----------|
| ()       | Скобки               | $(3+6)*3$ | 27        |
| ^        | Возведение в степень | $10^2$    | 100       |
| *        | Умножение            | $7*5$     | 35        |
| /        | Деление              | $15/3$    | 5         |
| +        | Сложение             | $5+5$     | 10        |
| -        | Вычитание            | $12-8$    | 4         |

**4.2.5.6. Скобки и порядок вычислений.** С помощью скобок формулу становится проще читать и, как следствие, проще редактировать. Если был получен неправильный результат, может оказаться, что вы неправильно оценили порядок выполнения вычислений. В формулу можно добавлять любое количество скобок, главное, чтобы каждой открывающей скобке соответствовала закрывающая. Когда это количество не совпадает, появится сообщение с предупреждением об ошибке. При этом программа предложит вам вариант исправления. Чтобы принять его, нажмите кнопку *Да*.

**4.2.5.7. Использование встроенных функций.** Для выполнения

более сложных операций над числами и текстом используются встроенные функции, то есть заранее заданные уравнения, которые на основе одного или нескольких значений возвращают один результат. Приложение Excel содержит более двухсот функций, относящихся к нескольким категориям. Нужно соблюдать синтаксис при вводе функций, так как только в этом случае программа сможет вернуть корректный результат. Аббревиатуры в скобках называются аргументами. Это значения, на основе которых функция возвращает итоговый результат. Чтобы функция возвращала корректный результат, нужно указать обязательные аргументы. Они выделены полужирным шрифтом. Хотя разобраться в структуре аргументов не так-то просто, через некоторое время вы обнаружите, что с помощью функций можно сэкономить массу времени, быстро получив результаты, которые при другом подходе пришлось бы вычислять довольно долго.

**4.2.5.8. Многофункциональная функция СУММ.** Одной из самых используемых является функция суммирования. Именно потому, что она используется очень часто, панель инструментов *Стандартная* содержит кнопку *Автосумма*, которая экономит время при составлении формул. Перед тем как нажать эту кнопку, выделите ячейку, в которую нужно поместить конечный результат. Щелчок на кнопке *Автосумма* приведет к автоматическому выделению соседних ячеек, которые будут использоваться в качестве аргумента функции, и помещению итоговой формулы в строку формул. При выделении диапазона, который не соответствует вашим намерениям, используйте кнопку мыши для выделения нужного набора ячеек. Для отмены команды *Автосумма* нажмите клавишу *Esc*. Можно использовать функцию суммирования также и для сложения значений диапазонов ячеек, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Например, формула =СУММ(A3:A8;C3:C8) складывает значения шести ячеек в столбце А и значения шести ячеек в столбце С. Если у вас нелокализованная версия Excel, имейте в виду, вместо точки с запятой в этой формуле в качестве разделителя диапазонов используется запятая. Выделение диапазонов ячеек, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, осуществляется при нажатой клавише *Ctrl*.

**4.2.5.9. Вставка функции.** При огромном количестве функций вряд ли возможно запомнить правила написания каждой из них. В Excel существует специальная команда *Функция* меню *Вставка*, с

помощью которой можно получить информацию о конкретной функции и вставить ее в формулу. Вызываемое этой командой окно диалога *Мастер функций*, вид которого показан на рис. 4.48, позволяет осуществлять поиск функций по их названиям, а также путем просмотра списка функций, принадлежащих к определенной категории. После выделения функции в нижней части окна диалога появляется ее краткое описание, объясняющее назначение и синтаксис. В окне диалога *Мастер функций* все аргументы функций выделены полужирным шрифтом, но при этом отнюдь не все их них являются обязательными. Используйте ссылку *Справка* по этой функции для получения более детальной информации.

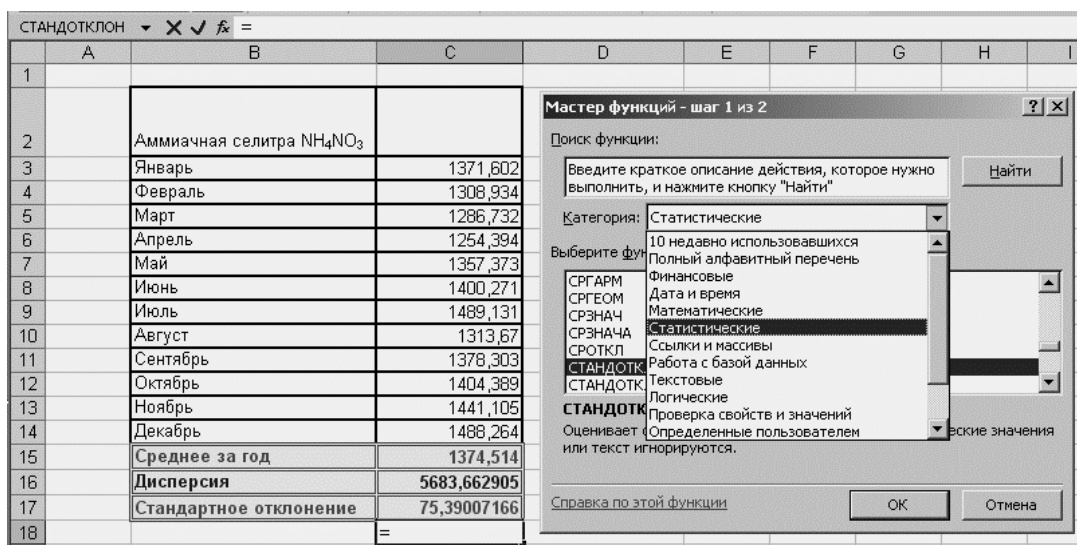


Рис. 4.48. Вставка статистической функции

После двойного щелчка на любой из функций списка *Выберите функцию* появляется второе окно диалога *Аргументы функции* (рис. 4.49), в числовое поле которого нужно вставить диапазон ячеек с данными.

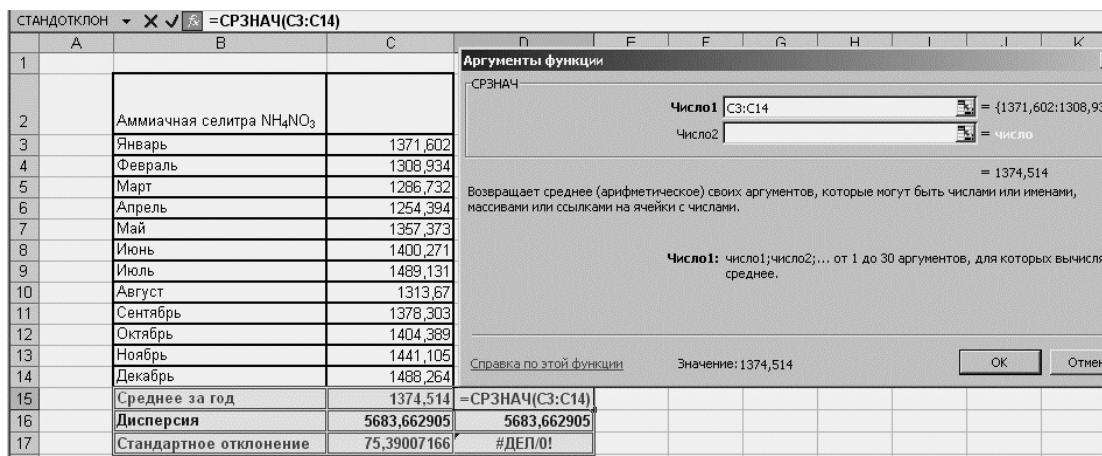


Рис. 4.49. Вставка аргументов функции

В некоторых случаях можно использовать функцию в качестве аргумента другой функции. Например, формула =СУММ(5;КОРЕНЬ(9)) складывает число 5 с результатом вычисления квадратного корня из числа 9.

**4.2.5.10. Значение ошибки.** Ввод функций с помощью окна диалога *Мастер функций* происходит непосредственно после нажатия кнопки *Ok*. Если в процессе ввода функции была допущена ошибка, в ячейке вместо результата вычислений появится код, называемый значением ошибки (error value).

Таблица 4.2

#### Информация об ошибках ввода формул

| Значение ошибки   | Описание  |
|-------------------|---|
| #ДЕЛ/0! (#DIV/0!) | В формуле происходит деление на ноль  |
| #Н/Д (#N/A)       | Не был указан аргумент функции  |
| #ИМЯ? (#NAME?)    | Microsoft Excel не может распознать имя, используемое в формуле                             |
| #ПУСТО! (#NULL!)  | В формуле задано пересечение двух областей, которые в действительности не имеют общих ячеек |
| #ЧИСЛО! (#NUM!)   | Данная ошибка возникает при неправильных числовых значениях в формуле или функции           |
| #ССЫЛ! (#REF!)    | В формуле имеется ссылка на несуществующие данные   |
| #ЗНАЧ! (#VALUE!)  | В качестве аргумента используется текстовое значение  |
| #####             | Результат вычислений слишком широк для того, чтобы поместиться в ячейке                     |

Этот код начинается знаком решетки (#) и заканчивается восклицательным знаком. Толкование информации об ошибках приведено в табл. 4.2. Если в ячейке появилось значение ошибки,

выделите ее и исправьте ошибку в строке формул. Также можно удалить формулу и ввести ее заново или, щелкнув на появившейся слева кнопке с восклицательным знаком, вызвать справку по этой ошибке, посмотреть этапы вычислений или запустить панель аудита формул.

**4.2.5.11. Использование имен в функциях.** Чтобы понять смысл функции было проще, можно присвоить имя ячейке или диапазону ячеек и затем использовать его в вычислениях. Например, вы можете присвоить ячейкам E4:E9 имя Subtotal, и тогда формула для суммирования значений этих ячеек будет выглядеть следующим образом: =СУММ(Subtotal). Имена должны начинаться с буквы и не могут содержать пробелы. Лучше ограничить длину имен пятнадцатью знаками, чтобы имя могло уместиться в поле *Имя* и потом его можно было легко использовать в формулах. Выделите набор ячеек вместе с их заголовком. Заголовок будет использован в качестве имени выделенного диапазона. Выберите команду *Имя* меню *Вставка* и затем в появившемся подменю – вариант *Создать*. Появится окно диалога *Создать имена*, в котором нужно указать, где именно расположено имя.

Также можно, выделив набор ячеек, ввести имя в текстовое поле *Имя*. Этот метод используется, когда нужно присвоить набору ячеек имя, отличное от их заголовка. После именованной одной ячейки ее имя появляется в текстовом поле *Имя* при любом ее выделении. Если же имя было присвоено диапазону, для его появления в этом поле необходимо выделить все ячейки диапазона.

**4.2.5.12. Использование имен в формулах.** Вы можете использовать имена в качестве аргументов функций в случаях, когда это целесообразно. Например, можно использовать имя диапазона ячеек в качестве аргумента функций СУММ или СРЗНАЧ. Если результатом ввода формулы является значение ошибки #ИМЯ?, проверьте, правильно ли было написано имя ячейки или диапазона. Чтобы избежать таких ошибок, используйте окно диалога *Вставка имени*. Для его вызова выберите команду *Имя* меню *Вставка* и затем в появившемся подменю – вариант *Вставить*. Теперь остается только дважды щелкнуть на имени, которое нужно включить в формулу.

**4.2.5.13. Редактирование и удаление имен.** Имена являются важной частью формул, и, кроме того, они делают формулы более простыми для понимания. При редактировании имени программа автоматически обновляет все содержащие его формулы. После удаления имени, включенного в формулу, в содержащей эту формулу



ячейке появится значение ошибки #ИМЯ?. Операция удаления имен необратима. Для исправления ошибки #ИМЯ? придется заново присвоить ячейке или диапазону нужное имя. Чтобы получить доступ к редактированию и удалению имен, используйте команду *Присвоить*, расположенную в подменю команды *Имя*. В результате ее выполнения появится окно диалога *Присвоение имени*.

#### 4.2.6. Программные средства для инженерных расчетов

##### 4.2.6.1. Инструмент анализа *Описательная статистика*.

Чтобы воспользоваться инструментом *Описательная статистика*, выберите команду *Анализ данных* из меню *Сервис*. В списке имеющихся инструментов анализа одноименного диалогового окна выберите пункт *Описательная статистика* и щелкните *Ок*, откроется диалоговое окно, приведенное на рис. 4.50.

Статистической обработке подвергается один или несколько наборов данных, располагаемых в интервале, ссылка на который задается в поле *Входной интервал*. Переключатель *Группирование* дает возможность уточнить, как размещаются данные: по столбцам или по строкам. Адрес верхней левой ячейки для этой таблицы задается в поле *Выходной интервал*. При установленном флажке *Итоговая статистика* создается подробная выходная статистическая таблица (рис. 4.51).

|    | A | B   | C           | D | E | F | G | H | I |
|----|---|---|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |             |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   | Аммиачная селитра NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> |             |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   | Январь  | 1371,602    |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   | Февраль   | 1308,934    |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   | Март  | 1286,732    |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   | Апрель  | 1254,394    |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   | Май   | 1357,373    |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   | Июнь  | 1400,271    |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   | Июль  | 1489,131    |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   | Август  | 1313,67     |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   | Сентябрь  | 1378,303    |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   | Октябрь   | 1404,389    |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   | Ноябрь  | 1441,105    |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   | Декабрь   | 1488,264    |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   | Среднее за год                                    | 1374,514    |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   | Дисперсия   | 5683,662905 |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   | Стандартное отклонение                            | 75,39007166 |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |             |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |             |   |   |   |   |   |   |

Рис. 4.50. Исходные данные и диалоговое окно *Описательная статистика*

**4.2.6.2. Скользящее среднее.** Скользящее среднее используется для расчета значений в прогнозируемом периоде на основе среднего значения переменной для указанного числа предшествующих

периодов. Скользящее среднее, в отличие от простого среднего для всей выборки, содержит сведения о тенденциях изменения данных. Этот метод может использоваться для предварительных оценок прогноза сбыта, запасов и других процессов.

|    | A | B   | C                  | D | E                         | F            |
|----|---|---|--------------------|---|---------------------------|--------------|
| 1  |   |   |                    |   |                           |              |
| 2  |   | Аммиачная селитра NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> |                    |   | Столбец1                  |              |
| 3  |   | Январь  | 1371,602           |   | Среднее                   | 1374,514     |
| 4  |   | Февраль   | 1308,934           |   | Стандартная ошибка        | 21,76323908  |
| 5  |   | Март  | 1286,732           |   | Медиана                   | 1374,9525    |
| 6  |   | Апрель  | 1254,394           |   | Стандартное отклонение    | 75,39007166  |
| 7  |   | Май   | 1357,373           |   | Дисперсия выборки         | 5683,662905  |
| 8  |   | Июнь  | 1400,271           |   | Экссесс                   | -0,810224003 |
| 9  |   | Июль  | 1489,131           |   | Асимметричность           | 0,100484363  |
| 10 |   | Август  | 1313,67            |   | Интервал                  | 234,737      |
| 11 |   | Сентябрь  | 1378,303           |   | Минимум                   | 1254,394     |
| 12 |   | Октябрь   | 1404,389           |   | Максимум                  | 1489,131     |
| 13 |   | Ноябрь  | 1441,105           |   | Сумма                     | 16494,168    |
| 14 |   | Декабрь   | 1488,264           |   | Счет                      | 12           |
| 15 |   | <b>Среднее за год</b>                             | <b>1374,514</b>    |   | Наибольший(1)             | 1489,131     |
| 16 |   | <b>Дисперсия</b>                                  | <b>5683,662905</b> |   | Наименьший(1)             | 1254,394     |
| 17 |   | <b>Стандартное отклонение</b>                     | <b>75,39007166</b> |   | Уровень надежности(95,0%) | 47,90059048  |
| 18 |   |   |                    |   |                           |              |

Рис. 4.51. Таблица исходных данных и результаты их статистической обработки  
Расчет прогнозируемых значений выполняется по формуле

$$F_{(t+1)} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{t-j+1}, \quad (4.2)$$

где  $F_t$  – прогнозируемое значение в момент времени  $j$ ;  $N$  – число предшествующих периодов, входящих в скользящее среднее;  $A_j$  – фактическое значение в момент времени  $j$ .

|    | A | B   | C                  | D | E   | F | G | H | I |
|----|---|---|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   | Аммиачная селитра NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> |                    |   | Скользящее среднее  |   |   |   |   |
| 3  |   | Январь  | 1371,602           |   | Входные данные  |   |   |   |   |
| 4  |   | Февраль   | 1308,934           |   | Входной интервал: \$C\$3:\$C\$14                            |   |   |   |   |
| 5  |   | Март  | 1286,732           |   | <input type="checkbox"/> Метки в первой строке              |   |   |   |   |
| 6  |   | Апрель  | 1254,394           |   | Интервал: <input type="text"/>                              |   |   |   |   |
| 7  |   | Май   | 1357,373           |   | Параметры вывода  |   |   |   |   |
| 8  |   | Июнь  | 1400,271           |   | Выходной интервал: \$E\$20                                  |   |   |   |   |
| 9  |   | Июль  | 1489,131           |   | Новый рабочий лист: <input type="text"/>                    |   |   |   |   |
| 10 |   | Август  | 1313,67            |   | Новая рабочая книга   |   |   |   |   |
| 11 |   | Сентябрь  | 1378,303           |   | <input checked="" type="checkbox"/> Вывод графика           |   |   |   |   |
| 12 |   | Октябрь   | 1404,389           |   | <input checked="" type="checkbox"/> Стандартные погрешности |   |   |   |   |
| 13 |   | Ноябрь  | 1441,105           |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   | Декабрь   | 1488,264           |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   | <b>Среднее за год</b>                             | <b>1374,514</b>    |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   | <b>Дисперсия</b>                                  | <b>5683,662905</b> |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   | <b>Стандартное отклонение</b>                     | <b>75,39007166</b> |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |

Рис. 4.52. Исходные данные и настройки диалогового окна *Скользящее среднее*

В текстовое поле входного интервала введите ссылку на диапазон исследуемых данных (рис. 4.52). Входной диапазон должен состоять из одного столбца или одной строки, содержащих не менее четырех ячеек с данными. Установите флажок, если первая строка входного интервала содержит заголовки. Снимите флажок, если заголовки отсутствуют. В этом случае подходящие названия для данных выходного диапазона будут созданы автоматически. Введите число значений, необходимое для расчета скользящего среднего. Значение по умолчанию равно 3. Введите ссылку на левую верхнюю ячейку выходного диапазона. Если установлен флажок *Стандартные погрешности*, то выходной диапазон состоит из двух столбцов, и значения стандартных погрешностей содержатся в правом столбце. Выходной диапазон и исходные данные должны находиться на одном листе. По этой причине параметры *Новый лист* и *Новая книга* недоступны.

Для вывода графика установите флажок для автоматического создания встроеной диаграммы на листе, содержащем выходной диапазон. Установите флажок, чтобы включить в выходной диапазон столбец стандартных погрешностей. Снимите флажок, чтобы получить выходной диапазон в виде одного столбца без значений стандартных погрешностей (рис. 4.53).

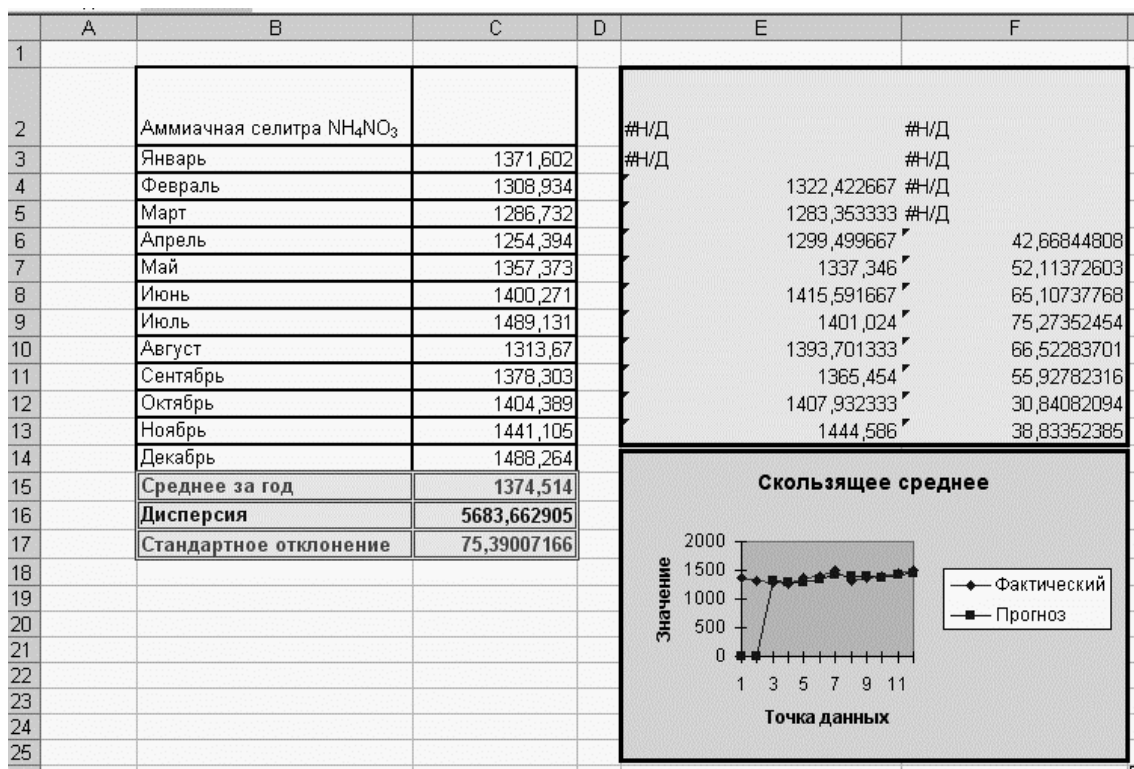


Рис. 4.53. Вычисление прогноза с помощью скользящего среднего

**4.2.6.3. Регрессия.** Линейный регрессионный анализ заключается в получении полиномиальной модели и графика для набора результатов наблюдений с помощью метода наименьших квадратов. Регрессия используется для анализа воздействия на отдельную зависимую переменную значений одной или более независимых переменных.

Например, на прочность продукции влияют несколько факторов, включая расход упрочняющей добавки полимера, степени помола волокна и скорости формования.

Регрессия пропорционально распределяет меру качества по этим трем факторам на основе испытания опытных образцов. Результаты регрессии впоследствии могут быть использованы для ориентировочного предсказания свойств нового вида продукции (рис. 4.54–4.56).

Как видно из приведенных данных на рис. 4.54–4.56, аппроксимацию таблично заданной функции линейной регрессией нельзя считать удовлетворительной, поскольку остатки по значению соизмеримы с изменениями оцениваемого сигнала, а колоссальная ширина границ доверительного интервала (от  $-6,815266276$  до  $7,595266276$ ) свидетельствует о больших расхождениях между

измеренными и предсказанными значениями  $Y$ .

|    | A        | B                    | C                    | D                    | E        | F   | G | H | I | J | K | L |
|----|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |          |                      |                      |                      |          |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |          |                      |                      |                      |          | <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p><b>Регрессия</b> [?] [X]</p> <p>Входные данные</p> <p>Входной интервал Y: <input type="text" value="\$E\$4:\$E\$14"/> [...]</p> <p>Входной интервал X: <input type="text" value="\$B\$4:\$D\$14"/> [...]</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Метки <input type="checkbox"/> Константа - ноль</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Уровень надежности: <input type="text" value="95"/> %</p> <p>Параметры вывода</p> <p><input type="radio"/> Выходной интервал: <input type="text" value=""/> [...]</p> <p><input checked="" type="radio"/> Новый рабочий лист: <input type="text" value=""/> [...]</p> <p><input type="radio"/> Новая рабочая книга</p> <p>Остатки</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Остатки <input checked="" type="checkbox"/> График остатков</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Стандартизованные остатки <input checked="" type="checkbox"/> График подбора</p> <p>Нормальная вероятность</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> График нормальной вероятности</p> <p>OK Отмена Справка</p> </div> |   |   |   |   |   |   |
| 4  | <b>№</b> | <b>X<sub>1</sub></b> | <b>X<sub>2</sub></b> | <b>X<sub>3</sub></b> | <b>Y</b> |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 1        | 50                   | 15                   | 100                  | 2,5      |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 2        | 75                   | 20                   | 125                  | 3,1      |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 3        | 100                  | 25                   | 150                  | 4,8      |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | 4        | 50                   | 20                   | 150                  | 3,2      |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 5        | 75                   | 25                   | 100                  | 5,5      |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | 6        | 100                  | 15                   | 125                  | 4,7      |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 7        | 50                   | 25                   | 125                  | 3,6      |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 8        | 75                   | 15                   | 150                  | 2,9      |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 9        | 100                  | 20                   | 100                  | 4,2      |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 10       | 75                   | 20                   | 125                  | 5,9      |   |   |   |   |   |   |   |

Рис. 4.54. Исходные данные и окно настройки для вычисления коэффициентов регрессии и дисперсионного анализа полученных результатов

|    | A                       | B                               | C                    | D                     | E                           | F                        | G                  |
|----|-------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1  | <b>ВЫВОД ИТОГОВ</b>     |                                 |                      |                       |                             |                          |                    |
| 2  |                         |                                 |                      |                       |                             |                          |                    |
| 3  |                         | <b>Регрессионная статистика</b> |                      |                       | <b>Дисперсионный анализ</b> |                          |                    |
| 4  | Множественный R         | 0,699635787                     |                      | SS                    | MS                          | F                        | Значимость F       |
| 5  | R-квадрат               | 0,489490235                     |                      | Регрессия             | 5,915                       | 1,971666667              | 1,91765278         |
| 6  | Нормированный R-квадрат | 0,234236353                     |                      | Остаток               | 6,169                       | 1,028166667              |                    |
| 7  | Стандартная ошибка      | 1,013985536                     |                      | Итого                 | 12,084                      |                          |                    |
| 8  | Наблюдения              | 10                              |                      |                       |                             |                          |                    |
| 9  |                         |                                 |                      |                       |                             |                          |                    |
| 10 |                         | <b>Коэффициенты</b>             | <b>Станд. ошибка</b> | <b>t-статистика</b>   | <b>P-Значение</b>           | <b>Нижние 95%</b>        | <b>Верхние 95%</b> |
| 11 | Y-пересечение           | 0,39                            | 2,94463448           | 0,132444282           | 0,898962903                 | -6,815266276             | 7,595266276        |
| 12 | X1                      | 0,029333333                     | 0,016558314          | 1,771516866           | 0,126857418                 | -0,011183432             | 0,069850099        |
| 13 | X2                      | 0,126666667                     | 0,082791572          | 1,529946384           | 0,176902775                 | -0,075917161             | 0,329250494        |
| 14 | X3                      | -0,008666667                    | 0,016558314          | -0,52340271           | 0,619453841                 | -0,049183432             | 0,031850099        |
| 15 |                         |                                 |                      |                       |                             |                          |                    |
| 16 | <b>ВЫВОД ОСТАТКА</b>    |                                 |                      |                       |                             | <b>ВЫВОД ВЕРОЯТНОСТИ</b> |                    |
| 17 |                         |                                 |                      |                       |                             |                          |                    |
| 18 | <i>Наблюдение</i>       | <i>Предсказанное Y</i>          | <i>Остатки</i>       | <i>Станд. остатки</i> |                             | <i>Перцентиль</i>        | <i>Y</i>           |
| 19 | 1                       | 2,89                            | -0,39                | -0,471062439          |                             | 5                        | 2,5                |
| 20 | 2                       | 4,04                            | -0,94                | -1,135381264          |                             | 15                       | 2,9                |
| 21 | 3                       | 5,19                            | -0,39                | -0,471062439          |                             | 25                       | 3,1                |
| 22 | 4                       | 3,09                            | 0,11                 | 0,132863765           |                             | 35                       | 3,2                |
| 23 | 5                       | 4,89                            | 0,61                 | 0,736789969           |                             | 45                       | 3,6                |
| 24 | 6                       | 4,14                            | 0,56                 | 0,676397349           |                             | 55                       | 4,2                |
| 25 | 7                       | 3,94                            | -0,34                | -0,410669819          |                             | 65                       | 4,7                |
| 26 | 8                       | 3,19                            | -0,29                | -0,350277198          |                             | 75                       | 4,8                |
| 27 | 9                       | 4,99                            | -0,79                | -0,954203403          |                             | 85                       | 5,5                |
| 28 | 10                      | 4,04                            | 1,86                 | 2,24660548            |                             | 95                       | 5,9                |

Рис. 4.55. Результаты регрессионного и дисперсионного анализа исходных данных, приведенных на рис. 4.54

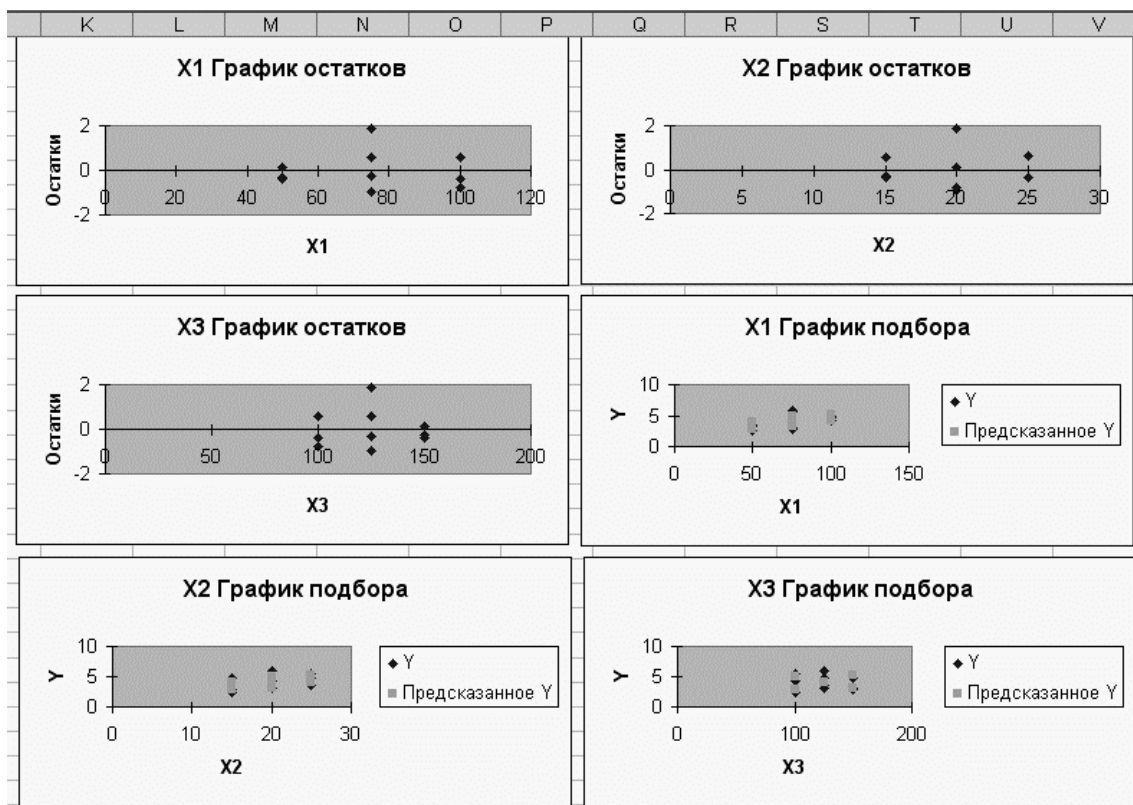


Рис. 4.56. Графическая интерпретация результатов регрессионного анализа

**4.2.6.4. Корреляция.** Корреляционный анализ применяется для количественной оценки взаимосвязи двух наборов данных, представленных в безразмерном виде. Коэффициент корреляции выборки представляет отношение ковариации двух наборов данных к произведению их стандартных отклонений. Корреляционный анализ дает возможность установить, ассоциированы ли наборы данных по величине, т. е. чем больше значения из одного набора данных, тем больше значениям другого набора (положительная корреляция), или, наоборот, чем больше значения одного набора, тем меньше значения другого (отрицательная корреляция), или данные двух диапазонов никак не связаны (нулевая корреляция).

На рис. 4.57 представлены результаты синхронных измерений шести признаков процесса получения вискозных волокон. После того, как на рабочий лист помещено диалоговое окно *Корреляция* из надстройки *Анализ данных*, необходимо указать входной интервал обрабатываемого массива. В нашем случае это \$B\$2–\$G\$16. Поскольку наименования признаков следует включить в создаваемую корреляционную матрицу (рис. 4.58), то необходимо поставить флажок *Метки в первой строке*.

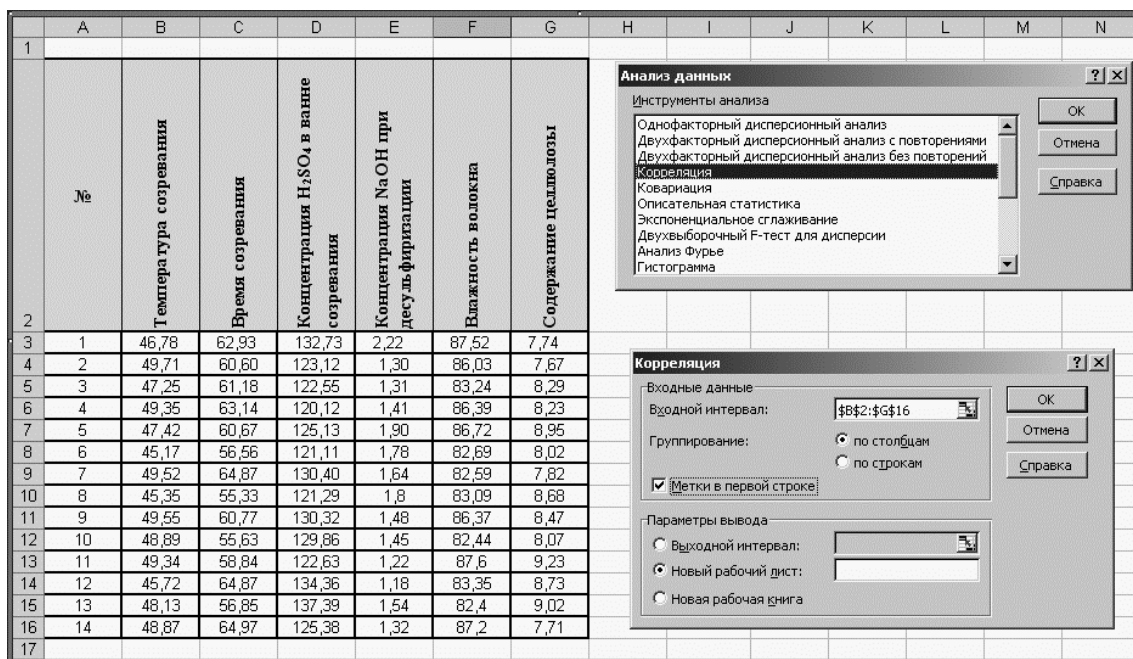


Рис. 4.57. Исходные данные и диалоговые окна настроек пакета *Анализ данных*

Анализируя значения коэффициентов парной корреляции, можно выявить соотношения признаков, которые в наибольшей степени оказывают влияние на параметры качества продукции или на ее себестоимость.

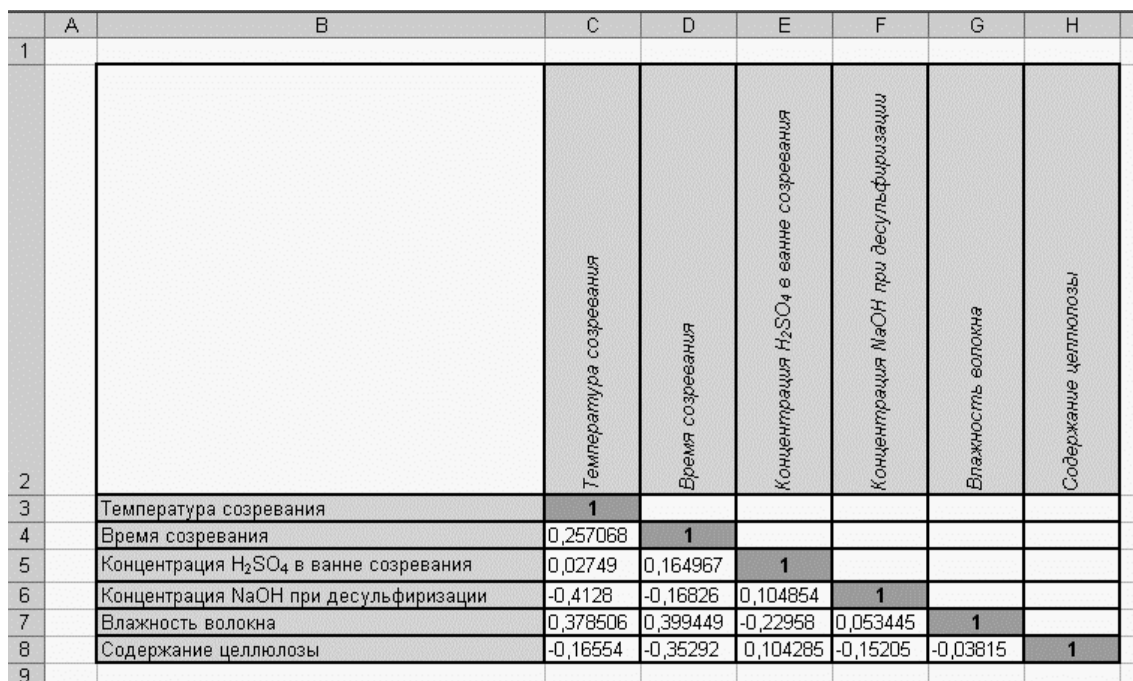


Рис. 4.58. Корреляционная матрица, полученная по условиям рис. 4.57

**4.2.6.5. Команда Подбор параметра.** Выбор в меню *Сервис* команды *Подбор параметра* дает возможность определить неизвестную величину, которая необходима для получения желаемого результата. Эта команда очень проста, так как используется для вычисления только одной переменной.

Для использования команды *Подбор параметра* лист должен содержать:

- формулу, для которой осуществляется подбор параметра;
- пустую ячейку, в которую будет помещен параметр;
- остальные значения, требуемые для получения результата при помощи формулы:

$$Y = 14,07 + 0,4x_1 - 0,06x_2 - 0,0022x_1x_2 - 0,002x_1^2 + 0,014x_2^2, \quad (4.3)$$

где  $Y$  – прочность листового материала;  $x_1$  – расход упрочняющей добавки полимера;  $x_2$  – степень помола волокна.

При этом в формуле должна быть ссылка на пустую ячейку.

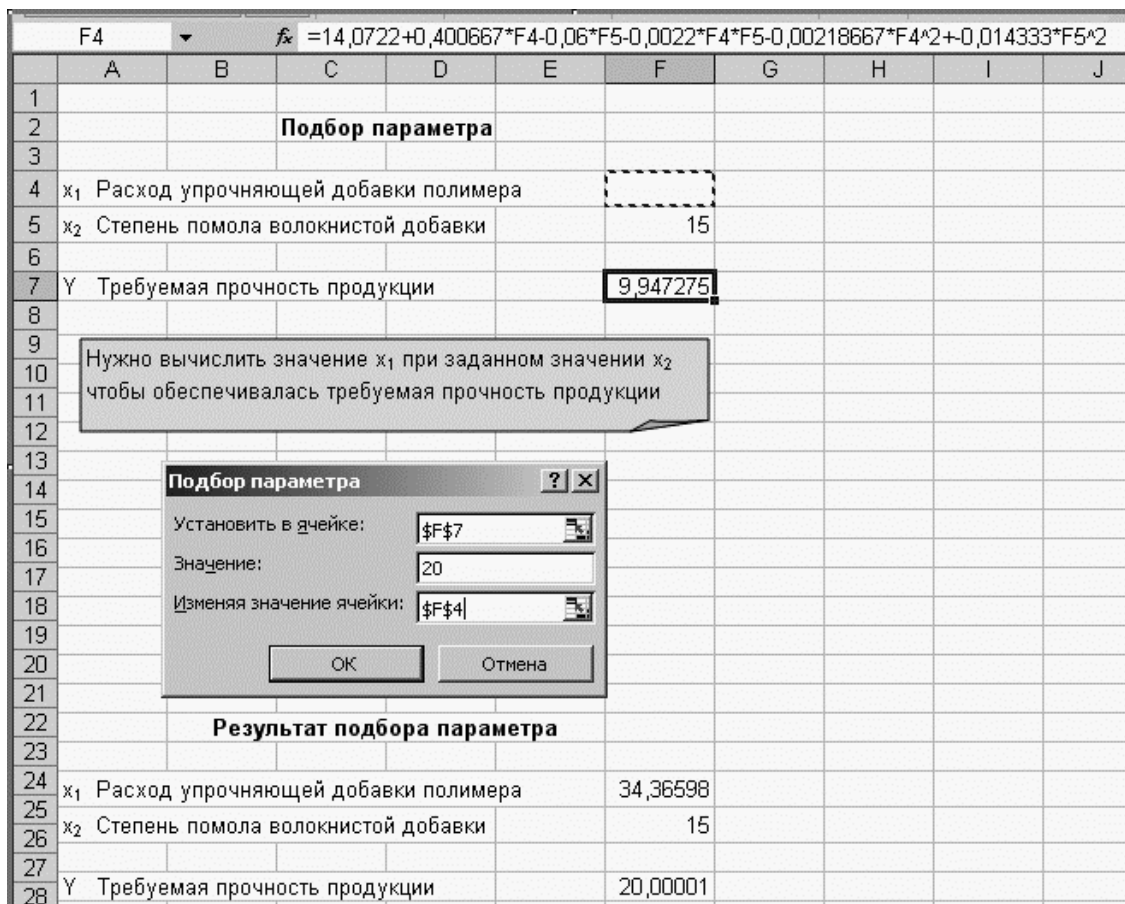


Рис. 4.59. Условия и результат применения надстройки *Подбор параметра*



После запуска команды *Подбор параметра* Excel изменяет значение в одной конкретной ячейке до тех пор, пока формула, зависящая от этой ячейки, не возвращает нужный результат. Этот процесс называется итерацией.

На рис. 4.59 показан сценарий определения оптимального расхода упрочняющей добавки для получения продукции с требуемой прочностью 20 условных единиц при заданной степени помола волокна 15°Ш-Р (градусы Шоппер-Ригглера). Формула 5.3 помещена в ячейку  $\$F\$7$ , которая отображается в строке формул с параметрами F4 ( $x_1$ ) и F5 ( $x_2$ ). Задача формализуется в диалоговом окне *Подбор параметра* путем заполнения соответствующих текстовых полей: *Установить целевую ячейку  $\$F\$7$  Равной минимальному значению 20, Изменяя ячейки  $\$F\$4$* . Таким образом, результат можно будет прочитать в ячейке  $\$F\$4$ .

Команду *Подбор параметра* можно назвать «Что – Если». Для рассматриваемого рабочего примера можно составить целый план вычислительных экспериментов. А что, если степень помола последовательно устанавливать 20, 25, 30, 35 и т. д.? Как это отразится на расходе упрочняющей добавки? А что, если потребовать, чтобы прочность продукции была 15, 20, 25, 30 условных единиц? И так далее.

**4.2.6.6. Оптимизация с помощью надстройки *Поиск решения*.** Первым шагом в использовании надстройки *Поиск решения* является создание листа с данными. Это включает задание целевой ячейки, содержащей формулу, поиск оптимального значения которой является нашей задачей, а также ряда изменяемых ячеек, значения которых будут изменяться в процессе процедуры поиска. Кроме того, лист содержит другие значения и формулы. При этом формула в целевой ячейке должна зависеть от изменяемых ячеек. В противном случае при запуске надстройки *Поиск решения* будет получено сообщение об ошибке.

Ячейка  $\$C\$30$  является целевой и содержит формулу для вычисления себестоимости продукции. Ячейки  $\$C\$11$ ,  $\$E\$11$  и  $\$C\$17$  являются изменяемыми. Именно их значение будет вычисляться в процессе работы надстройки *Поиск решения*. В правом нижнем углу экрана находится список ограничений, с помощью которых мы хотим сузить множество значений, используемых в модели. Величина ограничений определяется из практических соображений. Все эти цифры необходимо ввести в специальные текстовые поля окна диалога, которое появляется

после выполнения команды *Поиск решения* (рис. 4.60).

**Независимые переменные (факторы) технологического процесса**

|            |     |            |     |
|------------|-----|------------|-----|
| $x_{1min}$ | 50  | $x_{1max}$ | 200 |
| $x_{2min}$ | 250 | $x_{2max}$ | 450 |

Начальные значения независимых переменных (средняя точка)

|          |     |          |     |
|----------|-----|----------|-----|
| $x_{10}$ | 125 | $x_{20}$ | 350 |
|----------|-----|----------|-----|

Рабочие переменные (результат решения)

|          |           |          |     |
|----------|-----------|----------|-----|
| $x_{10}$ | 82,554623 | $x_{20}$ | 250 |
|----------|-----------|----------|-----|

**Формулирование и решение задачи компромиссной задачи оптимизации при помощи инструмента "Поиск решения"**

$x_1$  - расход упрочняющей добавки полимера  
 $x_2$  - расход упрочняющей добавки волокна

**Модель качества (прочности) продукции**

$$F(x_1, x_2) = 2000 + 145 \cdot x_1 - 0.56 \cdot x_2 + 0.3x_1^2 - 0.126 \cdot x_2^2$$

Значение функции качества в стартовой точке  
 $F(x_{10}, x_{20}) = 8000$

Требуемые значения параметра качества продукции  
 $8000 \leq F(x_1, x_2) \leq 12000$

**Регламентированные параметры**

|       |      |      |                         |
|-------|------|------|-------------------------|
| $C_1$ | 0,03 | у.е. | цена энергии            |
| $C_2$ | 780  | кВтч | удельный расход энергии |
| $C_3$ | 4    | у.е. | цена сырья              |

**Целевая функция процесса (себестоимость)**

$$C(x_1, x_2) = C_1 C_2 x_1 (x_2 - 200) + x_1 C_3$$

Значение целевой функции в стартовой точке  
 $C(x_{10}, x_{20}) = 249,3149604$

**Поиск решения**

Установить целевую ячейку:  $\$C\$30$  [Выполнить]

Равной:  максимальному значению  значению: 0  минимальному значению [Закрыть]

Изменяя ячейки:  $\$C\$11, \$E\$11$  [Предположить] [Параметры]

Ограничения:

- $\$C\$11 \leq \$E\$6$  [Добавить]
- $\$C\$11 \geq \$C\$6$  [Изменить]
- $\$C\$17 \leq \$D\$19$  [Удалить]
- $\$C\$17 \geq \$B\$19$  [Восстановить]
- $\$E\$11 \geq \$C\$7$  [Справка]
- $\$E\$7 \leq \$E\$7$  [Справка]

Рис. 4.60. Условия задачи оптимизации и диалоговое окно настроек ее решения

**Результаты поиска решения**

Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Тип отчета:  Результаты  Устойчивость  Пределы

Сохранить найденное решение  Восстановить исходные значения

[OK] [Отмена] [Сохранить сценарий...] [Справка]

| Целевая ячейка (min)   |                       |   |                        |             |             |
|------------------------|-----------------------|---|------------------------|-------------|-------------|
| Ячейка                 | Имя                   | Начальное значение                      | Конечное значение      | Изменения   | % Изменения |
| $\$C\$30$              | Себестоимость         | 2132,5                                  | 249,3149               | -1883,1851  | -88,31%     |
| $\$C\$17$              | Параметр качества     | 9181,5                                  | 8000                   | -1181,5     | -12,87%     |
| Независимые переменные |                       |   |                        |             |             |
| Ячейка                 | Имя                   | Начальное значение                      | Конечное значение      | Изменения   |             |
| $\$C\$11$              | $x_{10}$              | 125                                     | 82,55462264            | -42,4453774 | -33,96%     |
| $\$E\$11$              | $x_{20}$              | 350                                     | 250                    | -100        | -28,57%     |
| Ограничения            |                       |   |                        |             |             |
| Ячейка                 | Имя                   | Значение в ячейке при найденном решении | Формула                |             |             |
| $\$C\$17$              | $F(x_{10}, x_{20}) =$ | 8000                                    | $\$C\$17 \leq \$D\$19$ |             |             |
| $\$C\$17$              | $F(x_{10}, x_{20}) =$ | 8000                                    | $\$C\$17 \geq \$B\$19$ |             |             |
| $\$E\$7$               | $x_{2max} =$          | 450                                     | $\$E\$7 \leq \$E\$7$   |             |             |
| $\$C\$11$              | $x_{10}$              | 82,55462264                             | $\$C\$11 \leq \$E\$6$  |             |             |
| $\$C\$11$              | $x_{10}$              | 82,55462264                             | $\$C\$11 \geq \$C\$6$  |             |             |
| $\$E\$11$              | $x_{20}$              | 250                                     | $\$E\$11 \geq \$C\$7$  |             |             |

Рис. 4.61. Результаты решения задачи оптимизации

На основании рис. 4.61 можно утверждать, что задача

оптимизации решена успешно, поскольку найдены такие значения расхода упрочняющей добавки полимера ( $x_1 = 82,56$  кг/т) и расхода упрочняющей добавки волокна ( $x_2 = 250$  кг/т), которые обеспечивают получение продукции заданного качества (прочность более 8000 условных единиц) и минимизируют функцию цели (себестоимость тонны продукции), которая оказывается равной 2132,5 руб.

#### **4.2.7. Оформление расчетов**

Визуализация результатов расчетов с помощью диаграмм Microsoft Excel позволяет существенно облегчить их интерпретацию при составлении пояснительной записки курсовой работы. Создание диаграмм Microsoft Excel может осуществляться двумя способами: автоматически или с помощью Мастера, позволяющего пройти весь процесс создания диаграммы шаг за шагом.

Между диаграммой и данными, по которым она построена, устанавливается связь, позволяющая обеспечить автоматическое обновление диаграммы при изменении данных.

Если выделенная область данных отвечает определенным требованиям, то Excel может построить диаграмму автоматически. Но прежде чем воспользоваться возможностью автоматического построения диаграмм, необходимо четко уяснить основные правила, которые определяют, какие данные откладываются по горизонтальной оси категорий ( $X$ ), какие – по вертикальной оси значений ( $Y$ ), и в каких ячейках располагаются названия.

Предполагается, что ось категорий ( $X$ ) идет вдоль длинной стороны выделенного диапазона ячеек. Если выделен квадратный диапазон ячеек, или он занимает по ширине больше ячеек, чем по высоте, то названия категорий будут расположены в верхней строке диапазона. Если по высоте ячеек больше, чем по ширине, то названия категорий располагаются сверху вниз по левому столбцу диапазона.

Названия вдоль короткой стороны выделенного диапазона должны использоваться как метки легенды для каждого ряда данных. Если ряд данных один, Excel использует это название в качестве заголовка диаграммы.

На рис. 4.62 приведена таблица исходных данных, по которым предполагается получить диаграмму.

Наиболее удобным и наглядным способом создания диаграммы является использование Мастера диаграмм.

Мастер диаграмм не только руководит всем процессом создания диаграммы, но и позволяет просматривать диаграмму на каждом шаге

ее создания.

|   | А                | В | С                | Д                              | Е     | Ф     | Г                 | Н                              |  |
|---|------------------|---|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|--|
| 1 | <b>Материалы</b> |   | <b>Компонент</b> |                                |       |       |                   |                                |  |
| 2 |                  |   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |  |
| 3 | Песок            |   | 98,95            | 0,64                           | 0,58  | 0,00  | 0,00              | 0,13                           |  |
| 4 | Сода             |   | 0,00             | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 57,20             | 0,00                           |  |
| 5 | Мел              |   | 1,47             | 0,00                           | 53,90 | 0,00  | 0,00              | 0,60                           |  |
| 6 | Доломит          |   | 3,20             | 2,57                           | 27,06 | 19,62 | 0,00              | 0,53                           |  |
| 7 | Тех. глинозем    |   | 0,40             | 97,90                          | 0,35  | 0,00  | 0,00              | 0,05                           |  |
| 8 |                  |   |                  |                                |       |       |                   |                                |  |

Рис. 4.62. Таблица исходных данных

Чтобы вызвать Мастера диаграмм, необходимо сначала на рабочем листе выделить данные, по которым будет строиться диаграмма (рис. 4.63). Хотя Мастер диаграмм позволяет выделять данные для построения диаграммы и в процессе диалога, предварительное выделение упрощает процесс создания диаграммы.

|   | А                | В | С                | Д                              | Е     | Ф     | Г                 | Н                              |  |
|---|------------------|---|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|--|
| 1 | <b>Материалы</b> |   | <b>Компонент</b> |                                |       |       |                   |                                |  |
| 2 |                  |   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |  |
| 3 | Песок            |   | 98,95            | 0,64                           | 0,58  | 0,00  | 0,00              | 0,13                           |  |
| 4 | Сода             |   | 0,00             | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 57,20             | 0,00                           |  |
| 5 | Мел              |   | 1,47             | 0,00                           | 53,90 | 0,00  | 0,00              | 0,60                           |  |
| 6 | Доломит          |   | 3,20             | 2,57                           | 27,06 | 19,62 | 0,00              | 0,53                           |  |
| 7 | Тех. глинозем    |   | 0,40             | 97,90                          | 0,35  | 0,00  | 0,00              | 0,05                           |  |
| 8 |                  |   |                  |                                |       |       |                   |                                |  |

Рис. 4.63. Выделение области данных, по которым будет строиться диаграмма

Мастер диаграмм отображает последовательность диалоговых окон, которые служат руководством по созданию диаграммы. Они содержат кнопки, позволяющие переходить от одного диалогового окна к другому, либо пропускать диалоговые окна для автоматического завершения построения диаграммы. Чтобы создать диаграмму с помощью Мастера диаграмм, выполните команду *Вставка => Диаграмма* или нажмите кнопку *Мастер диаграмм*. Откроется первое диалоговое окно Мастера диаграмм (рис. 4.64).

В этом диалоговом окне можно выбрать один из многих предлагаемых стандартных или нестандартных типов диаграмм Excel. На вкладке *Стандартные* или вкладке *Нестандартные* выберите сначала нужный тип диаграммы в списке *Тип*, а затем требуемый вид диаграммы в области *Вид*. После этого нажмите кнопку *Далее*.

Откроется второе диалоговое окно Мастера диаграмм (рис. 4.65).

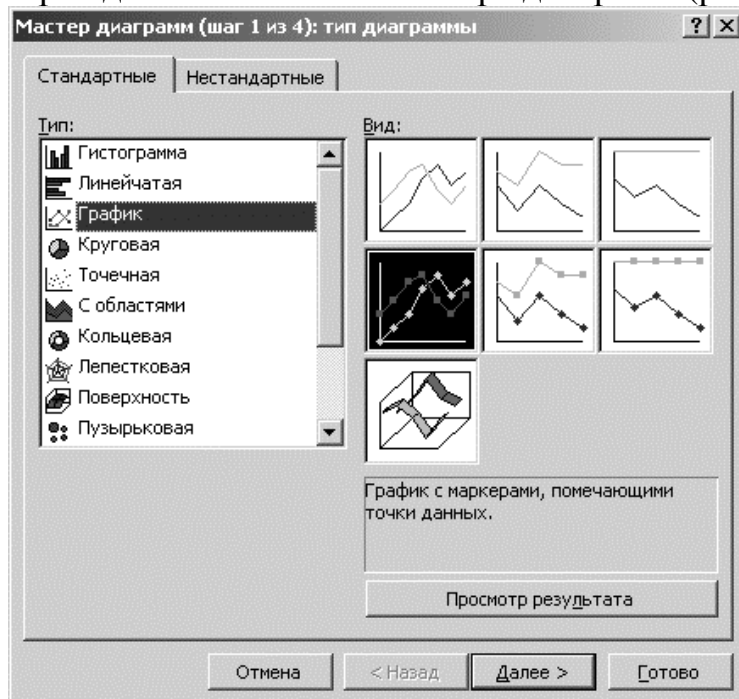


Рис. 4.64. Диалоговое окно Мастера диаграмм

Это диалоговое окно позволяет откорректировать неправильно выделенные данные или выделить данные для построения диаграммы, если они не были выделены до вызова Мастера диаграмм.

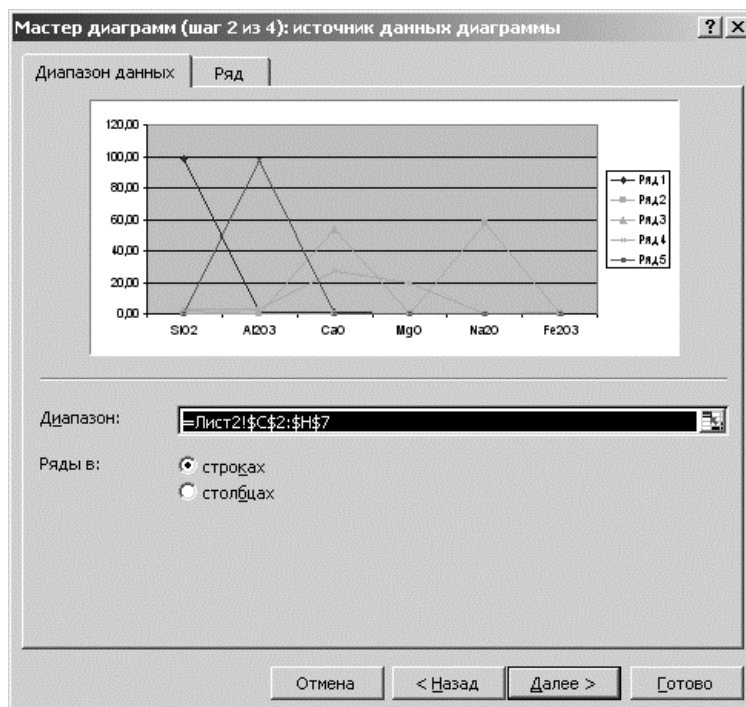


Рис. 4.65. Второе диалоговое окно Мастера диаграмм

Выберите ссылку на диапазон ячеек в поле ввода *Диапазон* и внесите необходимые исправления. Чтобы указать диапазон ячеек с данными для построения диаграммы с помощью мыши, сверните диалоговое окно мастера диаграмм, нажав на кнопку свертывания окна рядом с полем ввода *Диапазон*.

С помощью мыши выделите на рабочем листе нужный диапазон данных, а затем нажмите кнопку разворачивания окна для повторного отображения диалогового окна Мастера диаграмм. Для выделения несмежных рядов данных используйте клавишу *Ctrl*. Ссылки на несмежные диапазоны отделяются в поле ввода *Диапазон* знаками разделителя списков.

Второе диалоговое окно Мастера диаграмм позволяет также добавлять к диаграмме ряды данных, вводя ссылки на них в поле ввода *Диапазон*. Сверните второе диалоговое окно Мастера диаграмм, нажав на кнопку свертывания окна. Для ввода смежных рядов данных щелкните левой кнопкой мыши на последней ячейке добавляемого диапазона данных, удерживая при этом нажатой клавишу *Shift*. Для выделения несмежных рядов данных удерживайте нажатой клавишу *Ctrl* в процессе перетаскивания указателя мыши по всем добавляемым ячейкам данных. Если первоначальные диапазоны данных включали ячейки с именами рядов данных, то дополнительный диапазон тоже должен включать такую ячейку (рис. 4.66). После добавления новых рядов данных нажмите кнопку разворачивания окна.

|    | А             | В | С   | Д                              | Е     | Ф     | Г                 | Н                              |  |
|----|---------------|---|---|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|--|
| 1  |               |   | <b>Компонент</b>  |                                |       |       |                   |                                |  |
| 2  | Материалы     |   | SiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |  |
| 3  | Песок         |   | 98,95   | 0,64                           | 0,58  | 0,00  | 0,00              | 0,13                           |  |
| 4  | Сода          |   | 0,00  | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 57,20             | 0,00                           |  |
| 5  | Мел           |   | 1,47  | 0,00                           | 53,90 | 0,00  | 0,00              | 0,60                           |  |
| 6  | Доломит       |   | 3,20  | 2,57                           | 27,06 | 19,62 | 0,00              | 0,53                           |  |
| 7  | Тех. Глинозем |   | 0,40  | 97,90                          | 0,35  | 0,00  | 0,00              | 0,05                           |  |
| 8  |               |   |   |                                |       |       |                   |                                |  |
| 9  |               |   | Мастер диаграмм (шаг 2 из 4): источник данных диаграммы ... ? X |                                |       |       |                   |                                |  |
| 10 |               |   | =Лист1!\$A\$3:\$B\$7  |                                |       |       |                   |                                |  |
| 11 |               |   |   |                                |       |       |                   |                                |  |

Рис. 4.66. Выделение диапазона данных для диаграммы

Кроме того, второе диалоговое окно Мастера диаграмм позволяет обеспечить корректность представления данных на диаграмме. В большинстве случаев Excel правильно распознает, какие ячейки содержат данные для горизонтальной оси категорий

(X), какие – для вертикальной оси значений (Y), а какие ячейки содержат названия для меток легенды. Если метки оси категорий (X) отображаются в легенде и наоборот, выберите другой переключатель *Ряды*.

Во втором диалоговом окне мастера диаграмм можно также изменить параметры каждого ряда данных (рис. 4.67). Для этого раскройте в этом диалоговом окне вкладку *Ряд*. Здесь можно добавить или удалить ряды данных, а также изменить диапазон ячеек, содержащих подписи оси категорий (X). Для добавления рядов данных нажмите кнопку *Добавить*, затем сделайте активным поле ввода *Имя* и выберите на рабочем листе ячейку, содержащую имя нового ряда данных. Затем сделайте активным поле ввода *Значения* и выделите ячейки, содержащие значения для нового ряда данных.

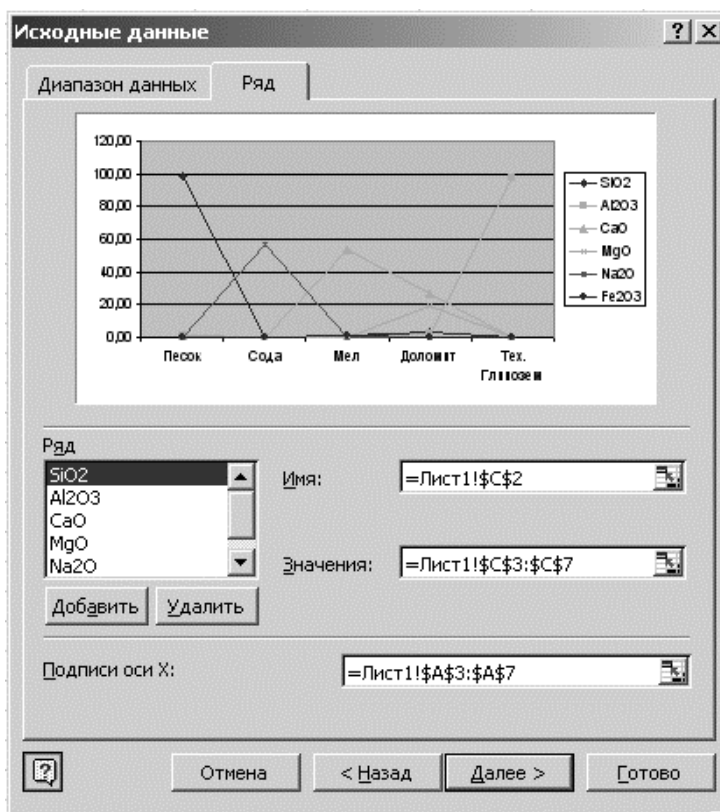


Рис. 4.67. Коррекция рядов

Если образец диаграммы в качестве меток оси категорий (X) использует числа, а должен использовать названия, сделайте активным поле ввода *Подписи* оси X и выделите ячейки, содержащие метки для оси категорий. После определения нужного диапазона данных нажмите кнопку *Далее*. Откроется третье

диалоговое окно Мастера диаграмм (рис. 4.68).

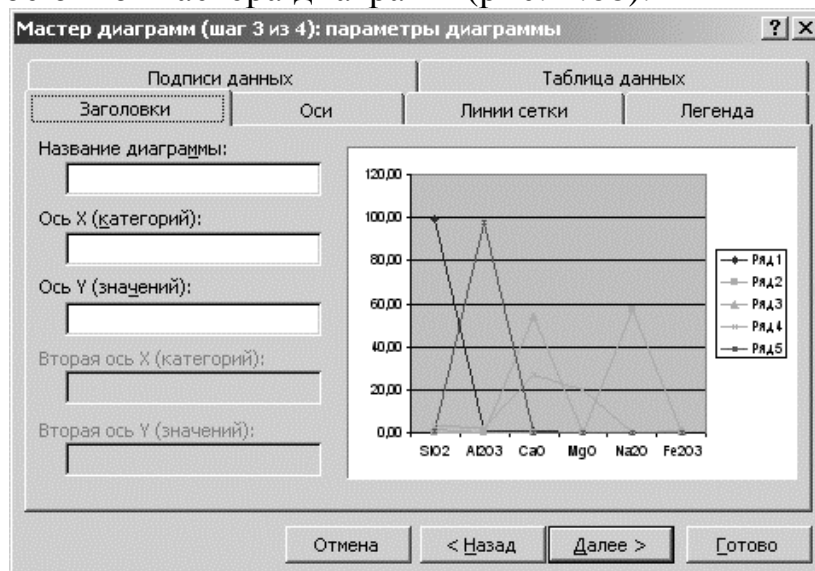


Рис. 4.68. Оформление подписей на диаграмме

Третье диалоговое окно позволяет изменять и добавлять некоторые элементы диаграммы. С его помощью можно добавить названия диаграммы и осей, изменить либо удалить ось категорий, удалить ось значений, добавить либо удалить линии сетки. Можно также добавить либо удалить легенду или изменить ее расположение. Кроме того, это диалоговое окно Мастера диаграмм предоставляет возможность связать метки данных с точками данных и добавить таблицу данных, используемых для построения диаграммы (рис. 4.69).

Объемная диаграмма представляет собой натянутую на точки поверхность. Она очень удобна для представления максимальных и минимальных значений в наборе данных, который зависит от двух переменных. Одинаковым цветом закрашены области, принадлежащие одному интервалу величин по вертикальной оси значений ( $Z$ ).

Для построения объемной диаграммы использованы те же данные, что и для предыдущего примера. Поскольку ось категорий целесообразнее представить в виде наименований материалов, то сначала по столбцам выделена область  $A3$  :  $H7$  (рис. 4.70), а в рядах будут помещены наименования компонентов. Это можно выполнить с помощью диалогового окна вкладки *Ряд*, в котором для каждого элемента списка *Ряд 1*, *Ряд 2* и т. д. присвоить имя в текстовом поле *Имя*, выделив его в исходной таблице (рис. 4.71).



На диаграмме, представленной в виде проволочного каркаса, проще сравнивать конкретные точки данных, которые могут быть невидимыми на диаграмме с поверхностью. Цветная контурная диаграмма и контурная диаграмма являются проекциями поверхности на плоскость.

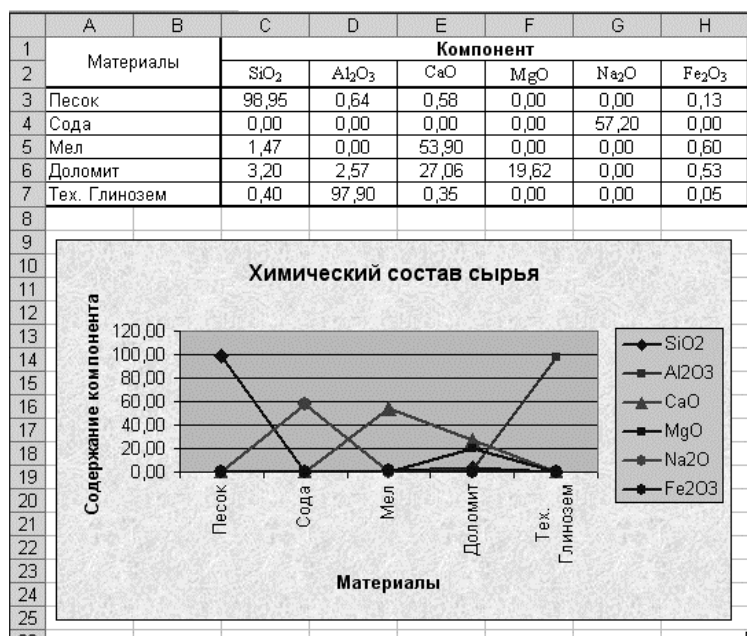


Рис. 4.69. Готовая диаграмма в виде графика

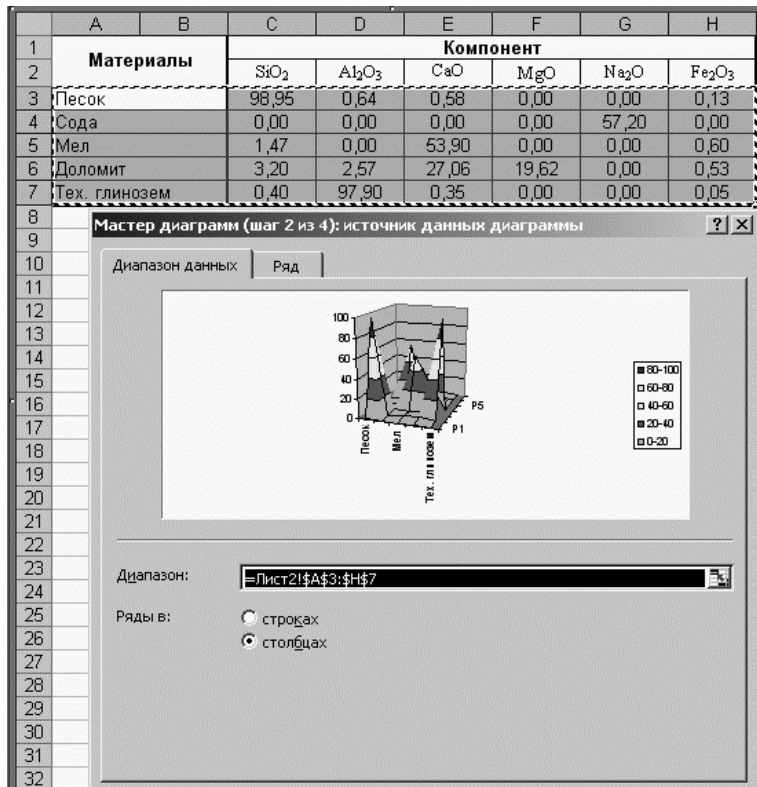


Рис. 4.70. Выделение области данных для построения объемной диаграммы

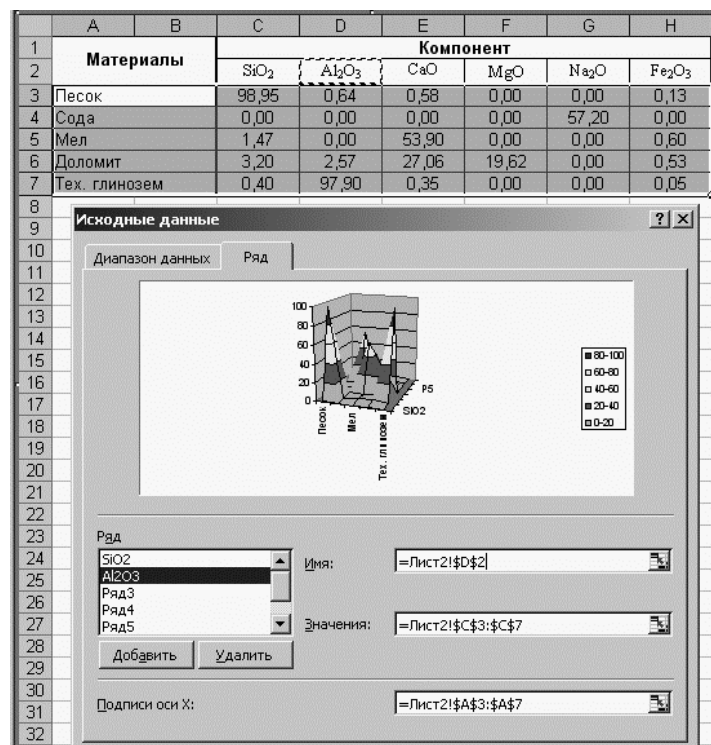


Рис. 4.71. Заполнение оси рядов

| Материалы     | Компонент        |                                |       |       |                   |                                |
|---------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|
|               | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Песок         | 98,95            | 0,64                           | 0,58  | 0,00  | 0,00              | 0,13                           |
| Сода          | 0,00             | 0,00                           | 0,00  | 0,00  | 57,20             | 0,00                           |
| Мел           | 1,47             | 0,00                           | 53,90 | 0,00  | 0,00              | 0,60                           |
| Доломит       | 3,20             | 2,57                           | 27,06 | 19,62 | 0,00              | 0,53                           |
| Тех. Глинозем | 0,40             | 97,90                          | 0,35  | 0,00  | 0,00              | 0,05                           |

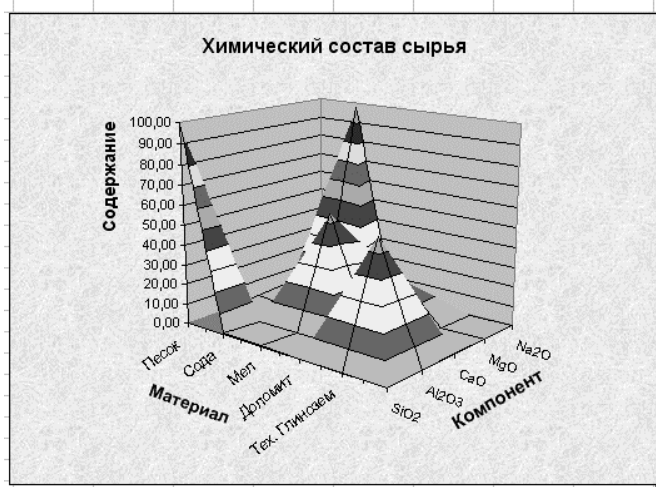


Рис. 4.72. Объемная диаграмма

Объемную диаграмму с поверхностью можно поворачивать, что позволяет оценивать ее с разных точек зрения (рис. 4.72). Число используемых цветов зависит от шкалы по вертикальной оси.

## 5. ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВЫХ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ

### 5.1. Редактор векторной компьютерной графики Microsoft Visio

#### 5.1.1. Особенности и назначение векторной компьютерной графики

Векторная графика исторически новее растровой. Число ее выразительных элементов сопоставимо с колодой карт Зеннера: отрезки, кривые, овалы, многогранники и их пересечения. При этом объем памяти, необходимой для сохранения готовых файлов, в векторной графике многократно меньше, чем в растровой. Рисунок, выполненный средствами растровой графики, в отличие от векторной при увеличении масштаба теряет резкие очертания границ. Редактирование векторных изображений неизмеримо проще и эффективнее.

Дальнейшее увеличение количества готовых графических примитивов приводит к появлению «мультивекторной» графики, оперирующей набором пиктограмм (иероглифов) на все случаи

жизни. На каком-то этапе перехода количества в качество появились, по сути, орфографические словари в картинках-иероглифах, называемые где «клипартами» и «шаблонами», где «библиотеками элементов» и «трафаретами». Рост армии цифровых рисовальщиков во многом совпадает с развитием именно таких программ.

Visio – это вселенная глазами менеджера среднего звена любой отрасли деятельности: от юстиции до Web-дизайна.

Мир Visio состоит из галактик: Standard Edition, Technical Edition Professional Edition, в каждой из которых несколько солнц (Solutions Category), окруженных планетами (Stencil), населенными рисованными моделями мира реального.

Для опытных специалистов взамен «не алгоритмизируемых методов изображения сложных структур» разработчики Visio предусмотрели могучую жизненную аналогию – «резиновую нить» Connector Tool. Формально это просто удобный инструмент рисования связей между объектами схемы, упрощающий их дальнейшее размещение на листе. Достаточно хаотично набросать элементы будущей схемы и связать их в нужном порядке, как дальнейшее позиционирование и выравнивание превращается в удовольствие. Объекты сохраняют свои взаимосвязи, куда бы вы их ни задвинули. При этом программа автоматически «разводит» линии схемы, словно дорожки на печатной плате, минимизируя число пересечений, изломов и суммарную длину.

На интуитивном же уровне «резиновая нить» в точности повторяет человеческие отношения: как бы ни «разводила» людей карьера по отделам и этажам, а ниточка общего хобби, скажем, рыбалки, по-прежнему будет соединять зам. директора по маркетингу с водителем главной бухгалтерши.

Для не очень сложной иерархической структуры достаточно задать в установленном формате текстовое описание, и Visio преобразует его в какую-нибудь «диаграмму подчиненности» или «дерево приоритетов». Некоторый опыт работы и везение в выборе пользовательских настроек позволяют строить блок-схемы просто фрактальной красоты.

Visio-файл, например, плана проектируемого цеха, на первом слое может содержать перечень мебели и оборудования с нумерацией по прайсам поставщиков и графу для визы отдела снабжения, на другом слое наложены электротехнические характеристики приборов и фамилия главного энергетика, третий слой – план эвакуации – потребуется на подпись пожарным, четвертый, с указанием габаритов

помещения, интересен только субподрядчику для раскроя обоев и линолеума. При этом программа способна выполнить проверку чертежа за все перечисленные ведомства – оценить энергопотребление нарисованной техники, сверить прайс-номера с инвентарными, рассчитать площадь линолеума и объем пепельницы по числу и занятости курильщиков (будь введены их параметры). А потом переформатировать выбранные слои и выложить на корпоративный сайт.

Microsoft Visio является одним из самых совершенных программных средств для работы с векторной графикой и создания технологических схем, эскизов производственного оборудования, диаграмм, строительных и машиностроительных чертежей и другой технической документации.

Главной особенностью Microsoft Visio является обширная подборка библиотек готовых образов условных обозначений технологического оборудования, всевозможных вентилях, заглушек, логических блоков, диаграмм.

Создание готового продукта сводится к перемещению мышью тех или иных элементов на рабочий лист. Потом их можно масштабировать, деформировать, перетаскивать, размножать и копировать. Особенно удобно работать с ломанными или ступенчатыми стрелками и линиями связи – они имеют по несколько узловых точек, с помощью которых мышкой можно их ломать и растягивать самым причудливым образом. Для создания красивых структурных схем есть много объемных элементов с тенью.

#### **5.1.2. Основные понятия**

Отличительной особенностью векторной графики является *единство рисунка и математики*. Каждая линия рисунка должна быть связана с геометрической формулой ее построения, форматированием, масштабированием и положением в пространстве.

Но нельзя думать о графике, как о «мешанине» векторов, поскольку Visio «дает» вам новую точку зрения. Visio-образы параметричны. Это означает, что любой Visio-образ может устанавливать свою геометрию и остальные атрибуты по величине определенных параметров – одни определяются инструментальным набором Visio, другие – самим разработчиком образа. Вместо фиксированной геометрии, основанной на кодировании  $X$ ,  $Y$  координат, геометрия образа определяется формулами, которые динамически пересчитываются в процессе того, как пользователь манипулирует этим образом. Вместо вычерчивания линий вы

пользуетесь «умными» объектами и с их помощью создаете желаемый чертеж (технология SmartShapes).

Поэтому один и тот же образ определяется рисунком и его математическим обеспечением. Информация о рисунке и формулах, его генерирующих, содержится в двух окнах интерфейса.

Рисунок размещается на планшете, а связанные с ним формулы – в табличном окне *ShapeSheet*.

### **5.1.3. Главные компоненты графического редактора**

Visio-документы имеют один и тот же формат, однако по расширению, которое определяется условиями сохранения, он может быть:

- рисунком (\*.vsd);
- трафаретом (\*.vss);
- шаблоном (\*.vst);
- рабочим пространством (\*.vsw).

Файловое расширение используется для определения того, что должно быть отображено на экране.

Структура графического редактора организована таким образом, чтобы можно было просто выбрать необходимый продукт (исходный образ) и обеспечить его развертывание и сопровождение на всех стадиях подготовки документа.

**5.1.3.1. Категории.** Категории – это список базовых групп стандартных шаблонов. По умолчанию имеются 16 категорий шаблонов.

– *Block Diagram* – шаблоны для построения различных изображений: в этих шаблонах находятся трафареты со всеми основными графическими фигурами, используемыми при создании пользовательских рисунков;

– *Brainstorming* – шаблон для построения блок-схем и описания новых идей на заданную тему;

– *Building plan* – шаблоны для построения разнообразных планов зданий, помещений и т. д.;

– *Business Process* – шаблоны для создания схем бизнес-процессов;

– *Charts and Graphs* – шаблоны, предоставляющие удобные инструменты для создания графиков;

– *Database* – шаблоны для описания структуры базы данных;

– *Electrical Engineering* – шаблоны для построения электрических схем;

– *Flowchart* – шаблоны для построения блок-схем;

- *Map* – шаблоны для создания карт, схем и планов местности;
- *Mechanical Engineering* – шаблоны для создания схем технических установок;
- *Network* – шаблоны для проектирования схем локальных или глобальных компьютерных сетей;
- *Organization diagram* – шаблоны для создания организационных диаграмм;
- *Process Engineering* – шаблоны для создания схем, связанных с перемещением объектов, например, схем трубопроводов;
- *Project Schedule* – шаблоны, позволяющие создавать схемы, связанные с процессами, зависящими от времени;
- *Software* – шаблоны, позволяющие создавать схемы, связанные с работой программного обеспечения, например, схемы распределения системных ресурсов, связи отдельных файлов проекта между собой и т. д.;
- *Web Diagram* – шаблоны для проектирования структуры веб-узлов.

**5.1.3.2. Шаблоны.** Шаблон – это файл с расширением \*.vst, который содержит конкретный набор инструментальных средств, трафаретов, стилей и настройки, определяющие специфический вид создаваемого рисунка. Шаблоны используются тогда, когда необходимо создавать большое количество однотипных документов. Шаблон позволяет исключить повторения однотипных действий при настройке интерфейса приложения, необходимого для работы с определенным типом документов, так как он автоматически открывает нужные трафареты, панели инструментов, включает стили, устанавливает параметры страницы и т. д. Настроив параметры шаблона и распространив его среди других пользователей, можно добиться единообразия документов во всей организации.

Пользовательский шаблон целесообразно использовать, если при создании документов требуются:

- однотипные нестандартные настройки размера или масштаба листа;
- особая настройка параметров окна редактирования и окна трафаретов, а также их специфическое взаимное расположение;
- применение пользовательских трафаретов или нестандартного набора трафаретов;
- применение пользовательских мастеров, стилей, фигур, текста и т. д.

Шаблон также удобно использовать в документах, где часто требуется единый фон. Например, если вам необходимо размещать логотип вашей компании в каждом документе, можно создать шаблон,

использующий данный логотип в качестве фона.

При инсталляции приложения Visio вместе с программными файлами устанавливается большое количество стандартных шаблонов, которые позволяют значительно упростить и ускорить разработку документов. Все стандартные шаблоны хранятся в папке X:\Program Files\Microsoft Office\Visio11\1033\, где X – имя системного диска.

**5.1.3.3. Трафареты.** Трафарет – это специальная панель, содержащая мастер-образы (далее – мастера), графические и вспомогательные элементы, которые можно вставлять в лист рисунка и использовать для создания необходимых изображений.

При установке приложения Visio будет автоматически установлен набор трафаретов, которые позволят создавать изображения любой направленности – от чертежей, планов и схем до бизнес-отчетов, включающих диаграммы различной степени сложности, блок-схем и организационных диаграмм. Мастера в этих трафаретах подобраны так, чтобы пользователю пришлось применять как можно меньше трафаретов, например, в любом трафарете с геометрическими фигурами содержится один или несколько соединителей специальных форм, а в трафаретах с диаграммами обязательно имеются мастера, создающие текстовые выноски.

При создании нового документа, особенно связанного с одним из стандартных направлений использования Visio, можно использовать шаблон. Каждый шаблон содержит несколько трафаретов, которые тесно связаны с избранной темой. Поэтому вместе с новым документом в окне приложения откроется и панель Shapes с набором предустановленных трафаретов. В то же время, если вам недостаточно тех мастеров, что находятся в уже открытых трафаретах, вы можете открыть другие трафареты или создать собственные.

Все трафареты разбиты по разделам и, соответственно, хранятся в разных папках. Для доступа к ним можно использовать меню, которое открывается после выбора команды *Файл => Объекты*, или раскрывающийся список кнопки *Формы*, находящейся на стандартной панели инструментов. Например, наибольшее число трафаретов общего назначения, содержащих соединители, текстовые вставки и выноски, специальные знаки, символы и т. д., находятся в разделе *Extras*. В приведенном ниже списке перечислены основные трафареты, направление их применения и место размещения: сначала указано имя раздела, а затем – трафарета:

– Block Diagram\Basic – трафарет содержит все основные



геометрические фигуры, которые могут быть использованы при создании рисунков;

- Flowchart\Basic Flowchart Shapes – трафарет содержит фигуры и соединители, предназначенные для создания блок-схем;

- Forms and Charts\Forms Shapes – трафарет содержит наиболее распространенные формы, используемые при создании отчетов или представлении данных;

- Forms and Charts\Charting Shapes – трафарет содержит мастера диаграмм, которые можно использовать для представления данных;

- Map\Directional Map Shapes 3D – трафарет содержит фигуры для создания планов местности;

- Map\Landmark Shapes – трафарет содержит значки, изображающие элементы городской инфраструктуры;

- Project Schedule\Calendar Shapes – трафарет содержит мастера, позволяющие создавать календари;

- Extras\Borders and Titles – трафарет содержит мастера бордюров и заголовков, предназначенных для украшения проектов;

- Extras\Backgrounds – трафарет содержит фоновые листы;

- Extras\Callouts – трафарет содержит различные выноски, предназначенные для создания описания элементов рисунка;

- Extras\Connectors – трафарет содержит всевозможные типы соединителей;

- Extras\Dimensioning-Engineering – трафарет содержит мастера линий выносок, необходимых для указания геометрических размеров;

- Extras\Embellishments – трафарет содержит мастера орнаментов, которые можно использовать для украшения рисунка;

- Extras\Symbols – трафарет содержит мастера наиболее часто используемых изображений;

- Extras>Title Blocks – трафарет содержит мастера, позволяющие создавать стандартные надписи, например, чертежные штампы.

**5.1.3.4. Мастера.** Мастер – это фигура, представленная на панели трафарета и имеющая набор настраиваемых параметров, которые задаются автоматически или вручную при переносе фигуры из трафарета на лист рисунка.

Термин «мастер» может ссылаться на линию, дугу, ломанную кривую, сегменты или серию из нескольких мастеров, сгруппированных вместе, а также на объект какого-либо внешнего приложения.

При формировании структуры мастера нужно ответить на четыре вопроса:

– будет ли мастер замкнутым или разомкнутым? Это, в основном, влияет на заполнение мастера;

– будет ли мастер одномерным или двумерным? Этот выбор окажет фундаментальное влияние на вид и поведение мастера;

– каким будет тип управления для моего мастера? То есть, как элементы пользовательского интерфейса будут связаны с геометрией мастера, и смогут ли они визуально показать их способ взаимодействия с данным мастером;

– будет ли мастер являться группой? Это повлияет на то, как пользователи будут редактировать группу мастеров и каждый мастер в отдельности.

Каждый мастер можно рассматривать в виде компонентов, которые будут использованы для построения чертежей, причем с меньшими усилиями или вообще без таковых. Каждый мастер, по возможности, должен изображать объект реального мира. Тогда пользователю лишь останется выбрать соответствующий мастер из трафарета. Если мастер будет напоминать что-то знакомое, это поможет пользователю сделать правильный выбор. Многофункциональный мастер, как правило, очень сложен и труден в обращении. Здесь предпочтительнее несколько мастеров, каждый из которых выполняет свою функцию. Более простые мастера работают в продуктах Visio быстрее и лучше.

Помимо собственноручного рисования вы сможете:

- импортировать графику из других программ;
- конвертировать метафайлы в мастера;
- сканировать картинки и использовать их в виде мастеров;
- адаптировать существующие мастера для личного пользования.

Мастер может быть создан из составных линий, дуг или сегментов кривой, называемых путями. Каждый из этих путей может быть замкнутым или разомкнутым. **Только замкнутый путь можно заполнить цветом или узором.** И только разомкнутый путь можно форматировать с помощью узлов. Прямоугольник, изображенный четырьмя линейными сегментами в замкнутом пути, может быть заполнен узором. Линии изображают разомкнутые пути, к которым «прикладываются» кончики линии – узлы, или так называемые точки привязки.

Мастера могут иметь более чем один путь. Из этого вытекает важное следствие – для создания контуров мастера вы можете использовать составные пути, как разомкнутые, так и замкнутые.

Разомкнутый путь может иметь свой первый и последний вертекс

(вершину) в одной и той же точке. Это придает ему сходство с замкнутым мастером, но вы не сможете заполнить или окрасить его. Тем не менее, вы можете замкнуть такой путь, «подтянув» с помощью Инструмента *Карандаш* последний вертекс и наложив его на первый.

В Visio мастер может быть одномерным (1-D) или двумерным (2-D). Одномерный мастер ведет себя как линия и имеет конечные точки привязки, которые вы можете подтягивать инструментом *Указатель*, меняя при этом размеры мастера. У вас также имеется возможность «подклеивать» концы одномерного мастера к сторонам двумерного мастера и тем самым создавать связующие линии, которые при движении мастеров будут оставаться на своих местах.

Мастера наделяются различными регулировками, которые позволяют вам модифицировать вид самих мастеров. Регулировка – это элемент управления, который появляется на выбранном мастере. Подобные элементы управления могут отличаться друг от друга. Это зависит от типа мастера и инструмента, которым выбирается мастер. Выбирая, к примеру, мастер с помощью инструмента *Поворот*, вы можете посредством «вращательных» регулировок повернуть соответствующий мастер.

#### **5.1.4. Интерфейс графического редактора**

Главное окно интерфейса графического редактора состоит из двух частей: вверху располагаются панели инструментов, а внизу предусмотрено рабочее окно, которое в свою очередь состоит из трафаретных стоек с мастерами и собственно рабочего листа для создания образов. *Окно рабочего листа* можно разделить и справа от него поместить *Окно формул*. Возможности редактирования и создания образов с помощью *Окна формул* в данном пособии рассматриваться не будут, поскольку это связано с программированием на VBA, которое достойно отдельного методического пособия.

Главные диалоговые окна рабочего интерфейса редактора представлены в виде таблицы (табл. 5.1), в которой к каждому окну содержатся краткие комментарии по его назначению и функциональным возможностям.

*Панели инструментов* в процессе использования графического редактора играют очень важную роль, поэтому они требуют более подробного описания.

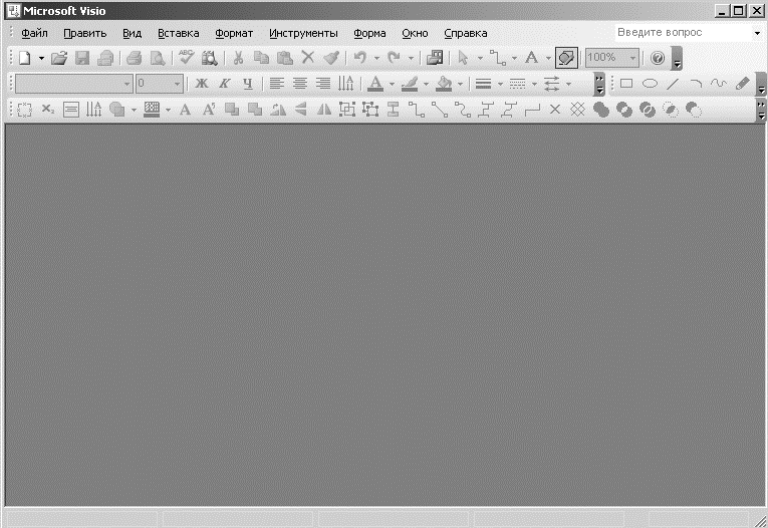
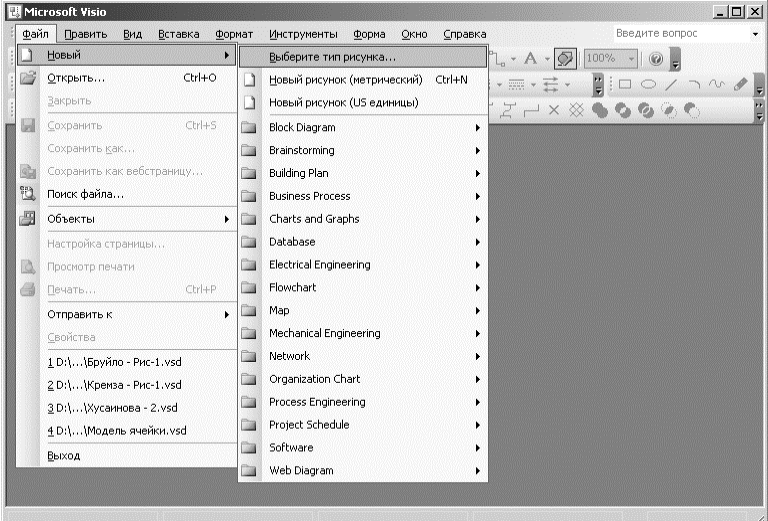
**5.1.4.1. Меню и панели инструментов.** Панель инструментов – это строка, в которой находится набор кнопок и раскрывающихся списков, предоставляющих доступ к наиболее часто используемым

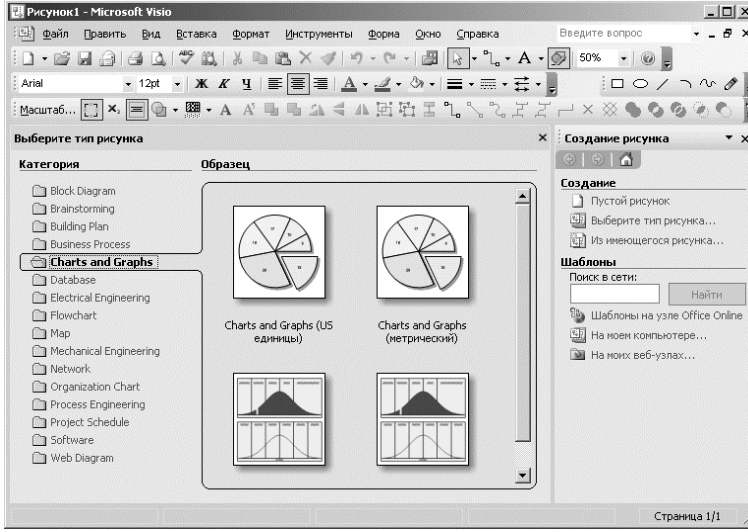
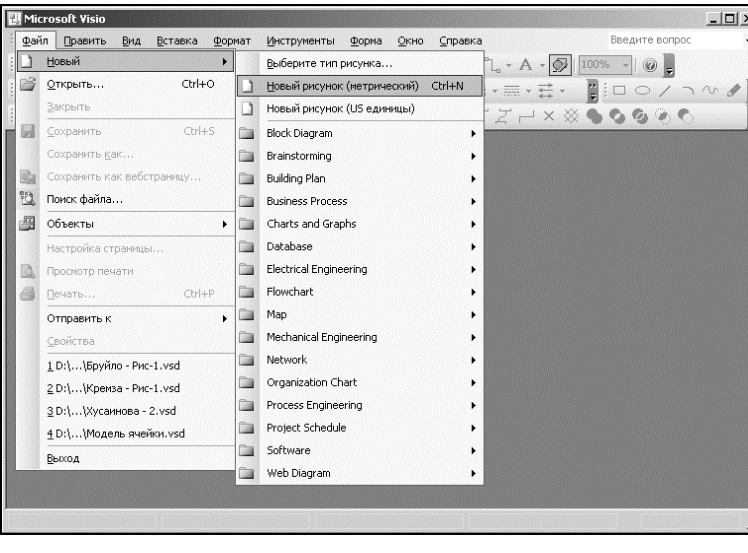
командам и параметрам приложения.

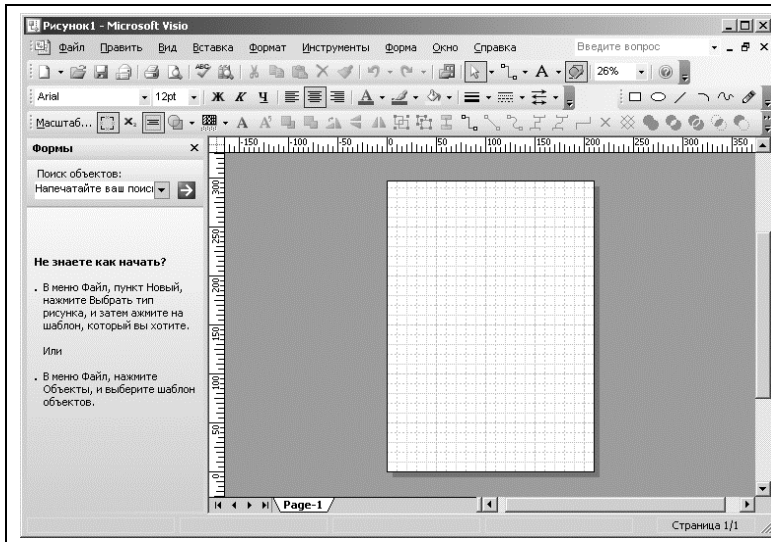
Панель меню располагается под строкой заголовка окна редактирования и отличается от панели инструментов тем, что на ней по умолчанию располагаются только раскрывающиеся списки, которые называются меню.

Таблица 5.1

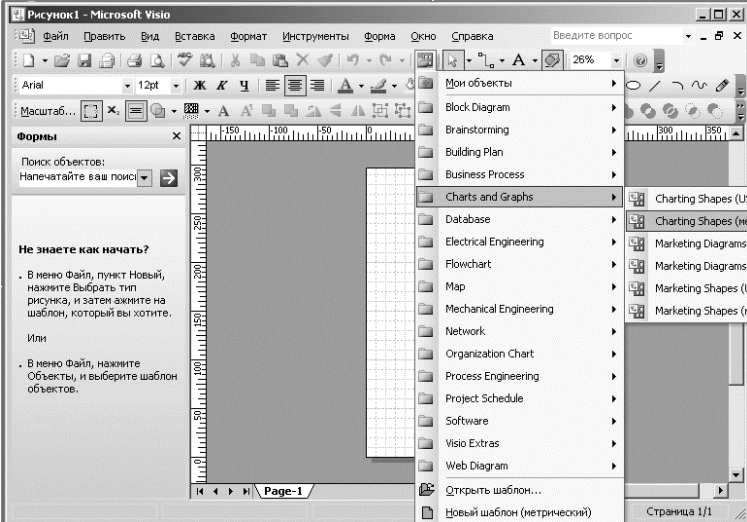
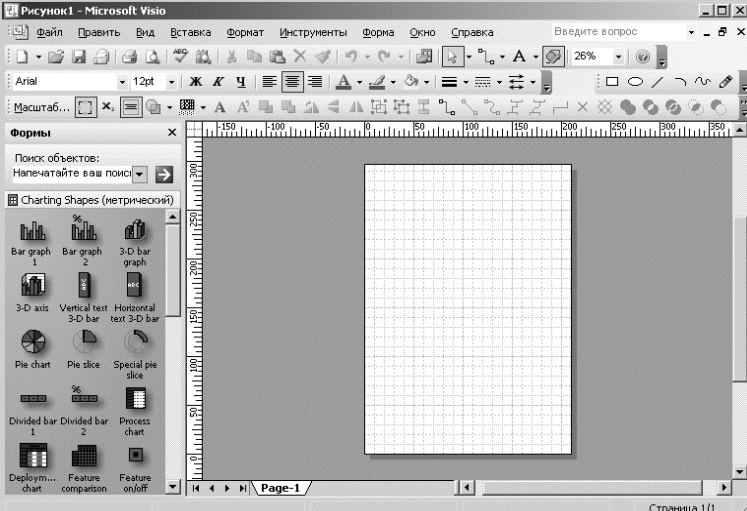
**Главные диалоговые окна рабочего интерфейса графического редактора**

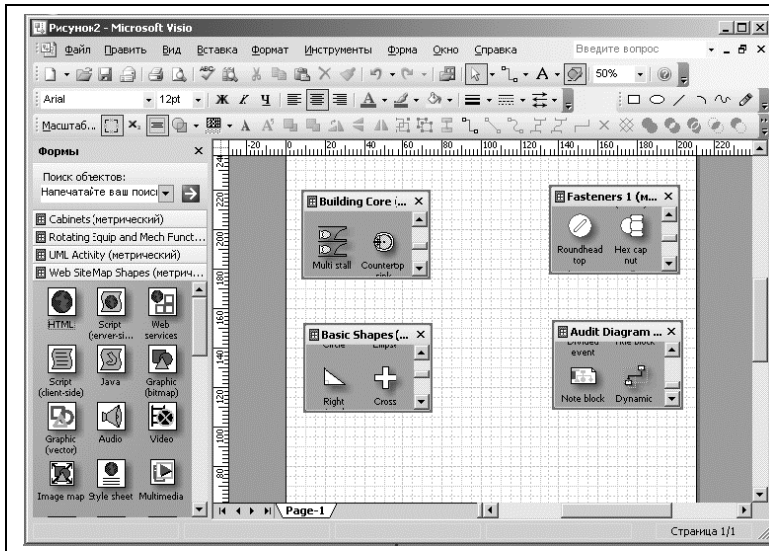
| Вид диалогового окна   | Характеристика  |
|--|---|
|   | <p>Это исходный вид главного окна при старте программы. Далее пространство под панелями может быть представлено либо в виде рабочего чертежа с библиотеками шаблонов, либо в виде категорий объектов для выбора нужных наборов шаблонов</p> |
|  | <p>На первоначальном этапе работы – при создании нового документа – основным целесообразно сделать окно <i>Выбор типа рисунка</i>. Это можно выполнить с помощью команды <i>Файл =&gt; Новый =&gt; Выберите тип рисунка</i></p>             |

| Вид диалогового окна   | Характеристика  |
|--|---|
|   | <p>Диалоговое окно <i>Выбор типа рисунка</i> со списком категорий и образцов групп объектов для определения необходимых шаблонов, которые можно создать с помощью подразделов библиотеки</p>  |
|  | <p>После того, как выбраны необходимые категории и шаблоны для будущего документа, на рабочий стол необходимо поместить <i>Лист рисунка</i> для размещения на нем мастеров и других компонентов создаваемого продукта. Эта операция выполняется с помощью команды <i>Файл =&gt; Новый =&gt; Новый рисунок (метрический)</i></p> |



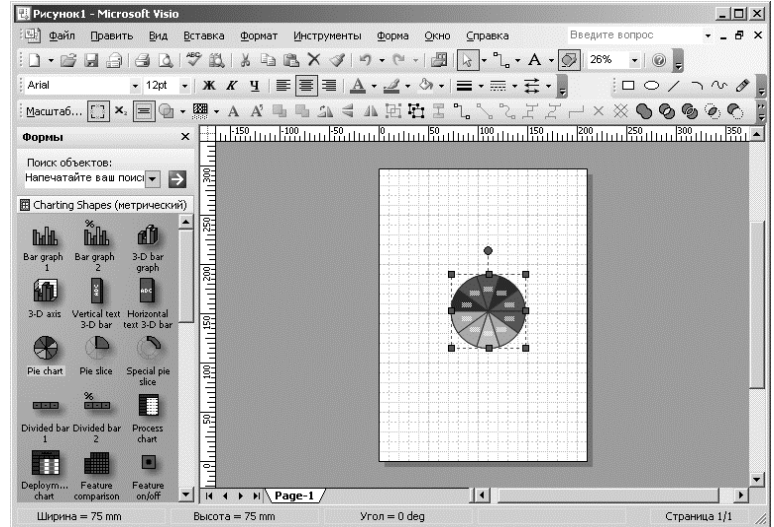
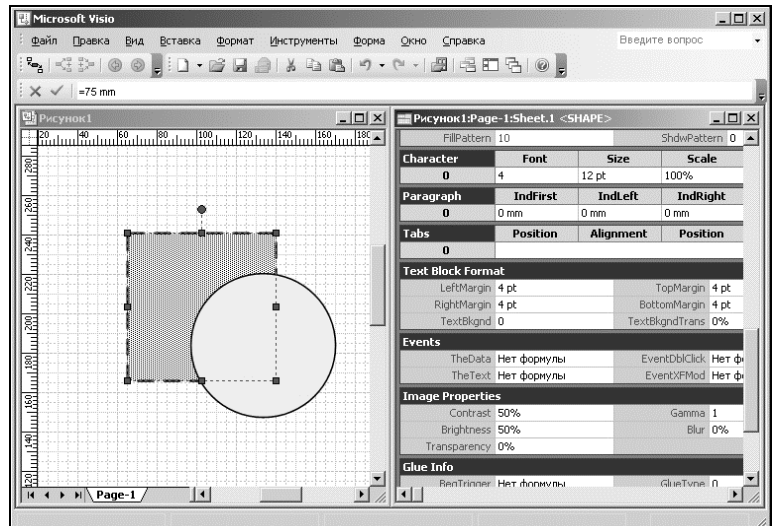
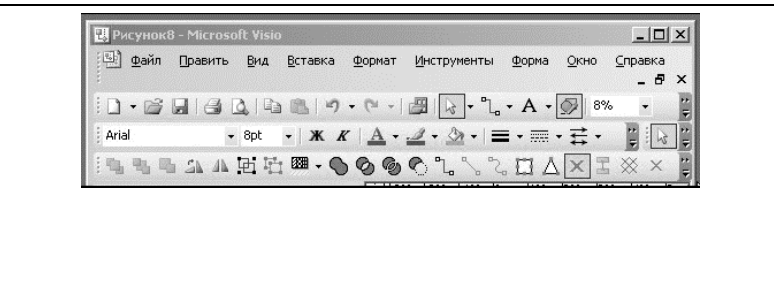
Рабочий стол с диалоговым окном *Рисунок 1*, масштаб которого можно легко изменять с помощью выпадающего списка текстового окна *Масштаб* на панели *Форматирование*

| Вид диалогового окна   | Характеристика  |
|--|---|
|  <p>Рисунок 1 - Microsoft Visio. Вид диалогового окна «Формы». В панели «Формы» отображены различные шаблоны диаграмм и графиков, такие как «Block Diagram», «Brainstorming», «Flowchart» и «Charts and Graphs». В центре рабочего листа видна сетка.</p>                         | <p>Если сформулирована цель использования графического редактора, то рационально слева от рабочего листа расположить панель трафаретов с пиктограммами мастеров, которые могут быть использованы для перетаскивания на чертеж. Это делается с помощью команды <i>Форма</i> на панели <i>Форматирование</i> =&gt; <i>Выбранная категория</i> =&gt; <i>Выбранный шаблон</i></p> |
|  <p>Рисунок 2 - Microsoft Visio. Вид диалогового окна «Charting Shapes (метрический)». В панели «Charting Shapes» отображены различные типы диаграмм и графиков, такие как «Bar graph», «Pie chart», «3-D bar graph» и «Process chart». В центре рабочего листа видна сетка.</p> | <p>Рабочий лист с панелями трафаретов, на которых содержатся соответствующие мастера. Но панели трафаретов могут располагаться не только каскадом слева, но и по всей площади рисунка</p>   |



Связанные и свободные панели трафаретов. Панели можно перетаскивать по поверхности экрана, поместив курсор на заголовок панели при нажатой левой клавише мыши



| Вид диалогового окна   | Характеристика  |
|--|---|
|    | <p>Поместить на <i>Лист рисунка</i> выбранный мастер можно простым перетаскиванием его с панели трафарета</p>   |
|   | <p>Окно чертежа и окно формул. В окне чертежа все изменения объекта вызываются его формулами. При перемещении и изменении образа на листе чертежа Microsoft Visio автоматически пересчитывает формулы, определяющие расположение образа на странице</p> |
|  | <p>Панели инструментов необходимо так организовать, чтобы на них были сосредоточены только те командные кнопки, которые понадобятся для создания образа</p>   |

В Microsoft Visio реализован механизм разворачивающихся меню. Этот механизм позволяет скрывать редко используемые команды меню, экономя, таким образом, время при выборе той или иной команды.

По умолчанию в приложении Visio отображаются только панель меню и панели инструментов *Стандартная* и *Форматирование*, а

остальные панели скрыты. Это сделано для минимизации места, занятого панелями, так как остальные панели требуются на более позднем этапе создания изображения.

Работа с документами приводит к необходимости располагать часто используемые командные кнопки на одной панели. Процедура создания пользовательских панелей описана в подразделе 3.2.1 «Создание вспомогательной панели инструментов».

**5.1.4.2. Окно формул (ShapeSheet).** Окно формул представляет собой отдельный элемент интерфейса приложения Visio, в котором содержится информация о геометрии фигуры или объекта, его поведении и свойствах. В полях электронной таблицы можно использовать не только числа, но и выражения, что делает работу над созданием образа более удобной и позволяет автоматизировать многие процессы. Здесь в полной мере проявляются все положительные качества векторной компьютерной графики. Формулы могут включать стандартные математические операции, операторы сравнения, набор тригонометрических и статистических функций, а также функций даты и времени.

#### **5.1.5. Приемы работы при создании изображения**

**5.1.5.1. Создание фигуры с помощью инструментов рисования.** Несмотря на многообразие стандартных фигур, мастера которых представлены в трафаретах, они не могут удовлетворить всех потребностей, поэтому иногда приходится создавать свои фигуры. Фигура может создаваться «с нуля» – с помощью инструментов рисования, путем различных комбинаций стандартных фигур, например, объединением, или же с помощью корректировки стандартных фигур инструментами редактирования.

Фигуры, созданные с помощью инструментов рисования, называются пользовательскими. К инструментам рисования в Visio относятся *Карандаш*, *Линия*, *Дуга* или *Рисование*. Все они содержатся на панели инструментов *Рисунок*. Используя эти инструменты, можно не только создавать свои фигуры, но и изменять стандартные фигуры так, что они перестают быть похожими на исходные мастера в трафаретах. При создании пользовательской фигуры также можно использовать инструменты *Прямоугольник* и *Эллипс*, предназначенные для построения прямоугольников и овалов.

Работа над рисунком связана с умением управлять фигурами, из которых она состоит. Управление фигурой делится на две части: внешнее и внутреннее. Внешнее управление заключается в «механическом» движении: перемещении, группировке, объединении

фигуры – т. е. всех тех операциях, когда фигура изменяет свои свойства или параметры под внешним воздействием, выполняемым, например, с помощью мыши. Внутреннее управление касается изменения модели поведения фигуры при тех или иных действиях пользователя, например, при редактировании некоторых ее внутренних свойств, таких как имя, порядок следования и т. д. Фигура имеет ряд индивидуальных внутренних свойств, определяющих правила ее поведения в тех или иных ситуациях. Например, можно указать, как должна откликаться фигура на выделение, на одиночный или двойной щелчок.

Копирование и перемещение – это операции, постоянно выполняемые пользователем при создании любых изображений. Например, создание стандартной фигуры можно рассматривать как копирование мастера с панели трафаретов на лист рисунка, а любое передвижение фигуры по листу – как операцию перемещения.

Копирование – это инструмент, позволяющий ускорить процесс создания и редактирования документа. Копирование может быть разделено на две независимых части: собственно копирование, когда копируемые данные сохраняются в документе, и перемещение, когда исходные данные удаляются, а скопированные вставляются в ином месте документа. Процесс перемещения может заключаться в простом изменении текущего положения фигуры, позиционировании или перемещении в точно заданное место листа.

Точка управления – это маркер специального типа, который появляется при изменении фигур с помощью инструмента *Карандаш*, сгруппированного с другими инструментами на панели инструментов *Рисунок*.

Визуально точки управления – это круглые зеленые маркеры, появляющиеся между двумя вершинами фигуры. При перемещении этих точек изменяется параметр кривизны выбранного отрезка. Изменение кривизны линии можно осуществлять от прямой, проходящей через три точки, до дуги, кривизна которой будет определяться удалением точки управления от центра исходной линии.

Кроме точек управления, отвечающих за линейные размеры кривизны дуги, в Visio можно использовать точки эксцентриситета, которые позволяют выполнять произвольное изменение кривизны. Эти маркеры проявляются при создании гладких кривых с помощью инструмента *Рисование*.

Точка эксцентриситета по внешнему виду совпадает с точкой управления, но, в отличие от нее, она может лежать вне ломаной

линии. Линии, созданные с помощью инструментов рисования, имеют парную точку эксцентриситета, характеризуемую прямой, проходящей через точку управления и две точки, которые описывают эксцентриситет данной линии.

При изменении вида гладких кривых, созданных с помощью инструмента *Рисование*, эксцентриситет выглядит несколько иначе. Линия эксцентриситета представляет собой отрезок, начинающийся в конечной точке и заканчивающийся в точке эксцентриситета. Таким образом, у фигур данного вида нет симметрии линии эксцентриситета относительно точки управления, но есть две независимых точки эксцентриситета, располагающихся в конечных точках фигуры.

Если фигура состоит из нескольких сегментов (сплайнов), то изменение положения точки эксцентриситета сильно сказывается на первом ближайшем сплайне, меньше на втором, незначительно на третьем и практически не сказывается уже на пятом сплайне. Но так как фигура имеет два независимых эксцентриситета, то с их помощью можно изменять вид фигуры, состоящей не более чем из восьми-девяти сплайнов. При большем числе сплайнов центральная часть фигуры будет независимой от положения эксцентриситета.

Каждую фигуру Visio можно рассматривать как набор соединенных между собой дуг и линий. Поэтому внешний вид любой фигуры, имеющейся на листе, можно изменить с помощью перемещения точек эксцентриситета или точек управления соответствующих сторон.

**5.1.5.2. Создание фигуры перетаскиванием с панели трафарета.** Любая фигура, созданная с помощью инструментов или трафаретов Visio, имеет специальные точки, которые называются вертексами (вершинами). Вершина – это точка, в которой начинается или заканчивается отрезок линии, дуги, сплайна, или точка соединения двух и более отрезков. Маркер вершины обозначается зеленым ромбом. По умолчанию замкнутая фигура имеет столько вершин, сколько у нее сторон, а разомкнутая – сколько в нее входит отрезков плюс один.

Маркеры вершин становятся доступными при работе с инструментами редактирования рисунка и имеют вид зеленых ромбов.

При изменении положения маркера вершины соответствующим образом меняется внешний вид фигуры.

Число вершин фигуры и число маркеров вершин могут не совпадать. Например, при создании пользовательской фигуры с помощью инструментов рисования, независимо от конечного вида

фигуры, у нее не будет ни одного маркера вершины. С другой стороны, такая фигура, как окружность, вообще не имеет вершин, однако у фигур *Circle* и *Ellipse* из трафарета *Basic Shapes* имеется два маркера вершины. Появление двух вершин у этих фигур обусловлено тем, что они обе созданы из двух соединенных отрезков, которые соответствующим образом выгнуты.

В некоторых случаях, например, при создании пользовательских фигур или изменении стандартных фигур трафарета, может понадобиться добавить или удалить вершину.

Для добавления новой вершины нажмите клавишу *Ctrl* и, удерживая ее, щелкните левой кнопкой мыши в том месте контура фигуры, где необходимо поместить вершину. Вместе с новой вершиной на половине расстояния до ближайшей уже существующей вершины фигуры добавится новая точка управления.

Для удаления вершины выделите ее и нажмите клавишу *Delete*. После этого указанная вершина будет удалена, а соседние с ней – соединены прямой.

В отличие от остальных маркеров, точки соединения (*connection points*) не играют активной роли в изменении свойств фигуры. Точки соединения, которые имеются только у фигур двумерного типа, обозначаются синими крестиками и позволяют упростить процесс соединения различных фигур (или фигур и соединителей).

В Visio используется три типа точек соединения: внутренняя, внешняя и смешанная. В зависимости от типа эти точки могут выполнять различные функции.

Внутренняя точка (X) соединения используется в тех рисунках, где выполняется соединение одномерных и двумерных фигур, например, узлов и соединителей в блок-схемах.

Внешняя точка соединения (■) используется для склеивания двумерных фигур. Эта связь позволяет объединить фигуры так, чтобы они сохраняли свой порядок или угол наклона друг относительно друга при перемещении или изменении одной из фигур.

Смешанная точка соединения (⊗) позволяет объединять любые фигуры, сочетая в себе возможности внутренней и внешней точек.

Все точки соединения, которые по умолчанию имеет фигура, являются внутренними и располагаются в узловых точках фигуры: вершинах, центрах сторон, геометрическом центре, местах наиболее частого соединения с другими фигурами.

Число точек соединения, которые может иметь фигура, зависит от самой фигуры и может быть изменено пользователем. При создании

пользовательских рисунков может возникнуть необходимость в дополнительных точках соединения, так как они являются универсальным средством для соединения различных фигур. Так, например, две фигуры, соединенные с помощью точек соединения, будут перемещаться вместе, а при использовании соединителя он автоматически будет продолжен и изогнут таким образом, чтобы соединение фигур не пострадало.

**5.1.5.3. Тюнинг.** В Microsoft Visio при создании новых образов лучше всего найти уже готовый Visio-образ, напоминающий нужный вам объект и отредактировать его.

Для того, чтобы оценить геометрию любого образа, отметьте его инструментом *Карандаш*, а затем «подергайте» за контрольные регулировки, добавляя или убирая вертексы (вершины). Для изменения кривых линий просто потяните контрольную точку.

Основной способ изменения формы образа заключается в перемещении вертекса инструментом *Карандаш*.

Для того, чтобы добавить сегмент, укажите, куда вы хотите его добавить и, удерживая клавишу *Ctrl*, щелкните инструментом *Карандаш*. Теперь вы можете подтянуть новый вертекс до желаемой позиции.

Для того, чтобы удалить сегмент, укажите вертекс инструментом *Карандаш*, а затем нажмите клавишу *Delete*.

Сегмент, с которым был связан вертекс, исчезнет. Остальные сегменты соответственно изменят форму.

**5.1.5.4. Связывание.** Фигуры могут соединяться между собой двумя способами: непосредственно с помощью точек соединения или через соединители (connectors). Соединители – это специальные фигуры, позволяющие связать несколько фигур между собой так, что, даже если их позже перемещают по листу, фигуры остаются связанными.

Процесс соединения может идти двумя путями: «фигура-к-фигуре» и «точка-к-точке». В зависимости от выбора соединения изменяется уровень контроля над конечным рисунком. Тем не менее, независимо от выбранного пути соединения этот процесс всегда осуществляется между двумя точками соединения.

В Visio также имеется специальный инструмент *Соединитель*, который позволяет выполнить соединение фигур простейшим способом (рис. 5.1). Этот инструмент очень похож на инструмент *Линия*, так как он рисует соединяющую линию. Однако, в отличие от линии, при перемещении одной из соединенных фигур соединитель также изменяет

свое положение, уменьшаясь, увеличиваясь и изгибаясь необходимым образом.

Алгоритм, по которому будет выполнено соединение или изменение параметров соединителя, зависит от установленного для данного соединителя формата и от общих установок форматирования соединителей.

При соединении «фигура-к-фигуре» соединитель автоматически настраивается на наиболее короткий путь между фигурами, то есть на точки соединения, расположенные ближе всего друг к другу. Если одна из соединенных фигур перемещается, то соединитель тоже перемещается так, чтобы занять наиболее выгодное положение. Этот вид соединения наиболее удобен при разработке разнообразных схем, так как он позволяет перемещать связанные фигуры по листу, не заботясь о необходимости следить за соединителями, связанными с фигурой, – они автоматически настроятся на наиболее приемлемый для них вариант.

На панели инструментов *Стандартная* выберите инструмент *Соединитель*.

Установите указатель на первую фигуру, которую необходимо связать соединителем. При этом нужно добиться, чтобы фигура была заключена в красную рамку – это будет свидетельством того, что соединение выполняется с данной фигурой.

Нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее, переместите указатель к фигуре, с которой нужно осуществить соединение. При возникновении вокруг фигуры красной рамки отпустите левую кнопку мыши.

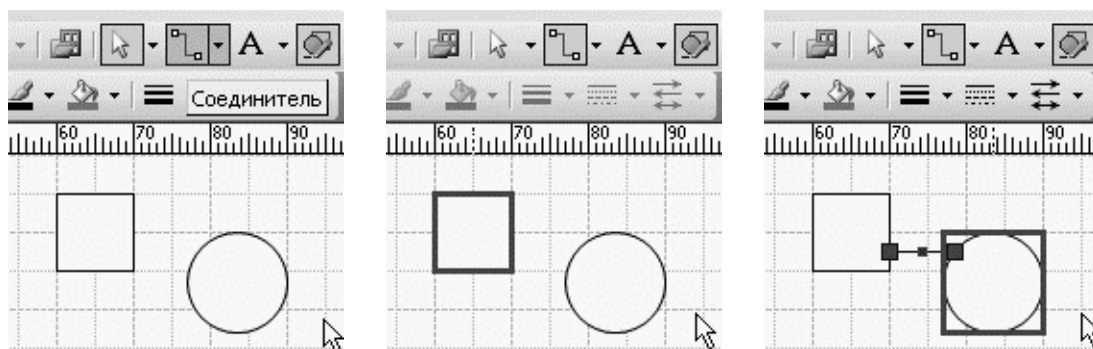


Рис. 5.1. Связывание фигур инструментом *Соединитель*

Для соединения фигур можно использовать инструменты *Прямые линии* и *Кривые линии*, которые выполняют автоматическое соединение способом «фигура-к-фигуре». Эти инструменты

используются для упрощения и ускорения создания схем с древовидной структурой, например, блок-схем. После создания с их помощью центральной цепочки к ней можно добавить «отростки», т. е. боковые элементы. При соединении двух фигур связь устанавливается между ближайшими точками соединения. Однако если фигур больше двух, достаточно сложно предугадать порядок их соединения – все они соединяются последовательно.

При соединении фигур способом «точка-к-точке» концы соединителя закрепляются в определенных точках соединения. При изменении положения фигуры может измениться геометрия линии соединителя, но не точки соединения. В качестве точки соединения может выступать любая точка фигуры, установленная по умолчанию или добавленная пользователем.

Фигуры могут быть соединены смешанным способом, т. е. к одной фигуре соединитель присоединяется как к фигуре, а к другой – как к одной из точек соединения этой фигуры. В этом случае свойства соединителя разделятся между его конечными точками: одна будет вести себя как точка, присоединенная к фигуре, а другая – к точке соединения.

Фигуры можно связывать или склеивать непосредственно друг с другом без образования видимой линии соединения, как это происходит при использовании соединителей. Для связывания используются точки соединения фигур, однако, в отличие от соединения с помощью соединителей, связанные фигуры зависят друг от друга несколько иначе. Например, при использовании соединителей после перемещения одной из соединенных фигур другая остается на месте – фактически связь между фигурами обуславливается только наличием соединительной линии. В случае непосредственного связывания фигур – склеивания – фигура, которая была «приклеена», автоматически перемещается и вращается вслед за перемещением основной фигуры (той, к которой она была приклеена). При изменении размеров основной фигуры приклеенная фигура сохраняет свой размер, но при этом она изменяет место своего расположения вслед за изменением положения точки соединения.

Можно выделить несколько способов связывания.

**Первый способ связывания.** Чтобы связать формы по классическому способу, необходимо активировать сначала командную кнопку *Приклеить к меткам формы*, а затем командную кнопку *Соединитель*. Если работать только с нажатой кнопкой *Соединитель*, то связь форм лишь обозначится, но приклеивания



связей не произойдет. При изменении положения (перемещении) форм связь между ними сохранится, но сами связи могут выглядеть плохо, потому что они жестко приклеены к меткам форм. Поэтому для того, чтобы изменить положение точки приклеивания, нужно ее переместить при нажатой кнопке *Точка соединения*.

**Второй способ связывания.** Последовательность действий такая же, как и в первом способе. Здесь только уместно обратить внимание на то, что в тех случаях, когда процесс связывания форм будет завершаться приклеиванием, то при приближении *Соединителя* к форме его крайнее звено изменит цвет на красный. Если кнопка *Приклеить к меткам формы* не нажата, то изменения цвета не произойдет и приклеивания не будет.

**Третий способ связывания.** Связать формы можно также, если при нажатой кнопке *Указатель* нажать кнопку *Соединить формы*.

**Четвертый способ связывания.** Связывание форм будет происходить автоматически, если активировать кнопку *Соединитель*, а затем перетаскивать шаблоны из трафаретов.

Использование соединителей при создании изображения может потребовать определенных настроек их взаимного расположения. Настройка параметров может быть выполнена «вручную» или автоматически. Ручная установка подразумевает непосредственную прорисовку всех соединителей. При автоматической настройке параметров соответствующие значения определяются для всех соединителей листа. Это позволяет создавать единообразные изображения, которые, если это необходимо, можно откорректировать вручную.

**5.1.5.5. Объединение фигур.** В Visio имеется три операции, позволяющие объединить фигуры: операция Union (объединение), операция Join (соединение) и операция Combine (комбинирование). При объединении все указанные фигуры сливаются в одну и дальше рассматриваются как единое и неделимое целое (рис. 5.2).

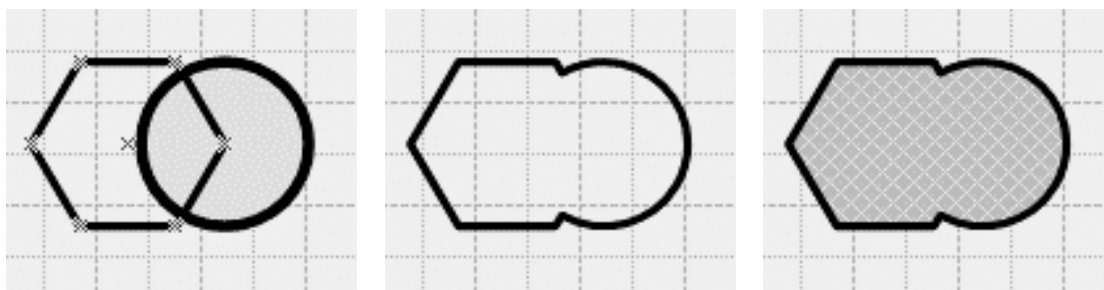


Рис. 5.2. Объединение фигур инструментом *Объединение*

Объединяемые фигуры не обязательно должны быть пересекающимися – конечная фигура будет иметь несколько непересекающихся контуров. Если же фигуры пересекаются, то их внутренняя часть сливается, а внешняя объединяется по контурным линиям. Операция объединения может быть применена и к одной фигуре. В этом случае ее контурная линия не изменяется, но все точки соединения будут удалены.

**5.1.5.6. Соединение фигур.** В отличие от операции объединения, при соединении фигур их внутренняя часть удаляется, а все контурные линии сохраняются (рис. 5.3). Таким образом, от исходных фигур в новую фигуру попадают только те части, которые не пересекались с другими фигурами. При применении операции соединения к одной фигуре у нее будут удалены внутренняя часть и все точки соединения – останется лишь контурная линия.

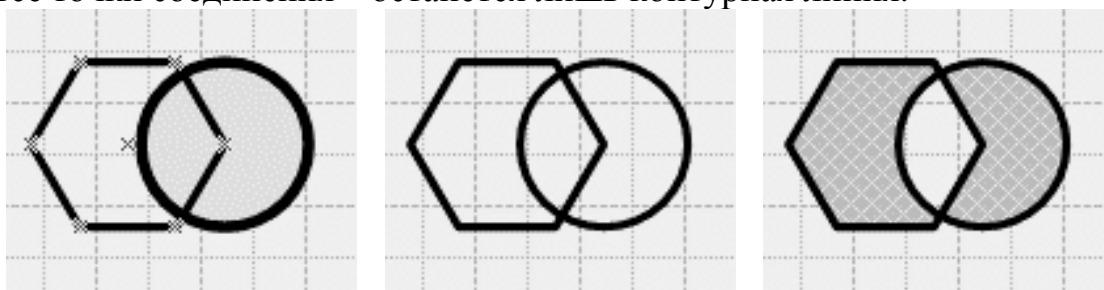


Рис. 5.3. Соединение фигур инструментом *Комбинирование*

Операция комбинирования фигур позволяет получить новую фигуру путем объединения фрагментов, которые не пересекаются с другими выделенными фигурами. Результатом действия команды является одна фигура, состоящая из соответствующих фрагментов исходных фигур. Таким образом, например, можно создать фигуру в виде бублика.

**5.1.5.7. Разделение фигур.** Операции разделения фигур по смыслу противоположны операциям объединения – в результате их действия из набора фигур остается лишь какая-то часть от исходных фигур, например, общая для всех, или несколько фрагментов, границы которых определяются пересечением контурных линий.

В Visio можно выделить четыре операции разделения фигур: Subtract (вычитание), Trim (обрезка), Fragment (фрагментация) и Intersect (пересечение).

При использовании операции *Вычитание* (рис. 5.4) из фигуры, которая была выделена первой, происходит удаление всех

фрагментов, которые пересекаются с другими, выделенными позднее фигурами. Если контуры фигур, выделенных позднее, не пересекаются, то фигура, выделенная первой, остается без изменений.

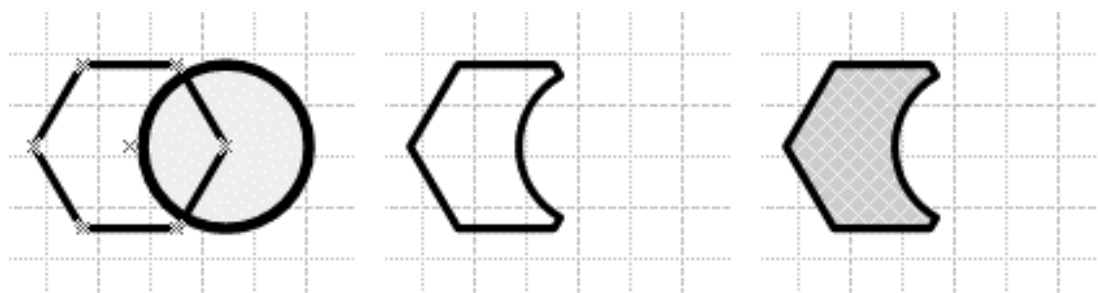


Рис. 5.4. Разделение фигур инструментом *Вычитание*

При выполнении операции *Обрезка* (рис. 5.5) происходит деление контурных линий выделенных фигур на отрезки. Концы отрезков определяются точками взаимного пересечения контурных линий фигур. Несмотря на то, что получаемые фигуры по своей сути являются одномерными, они представлены как фигуры двумерного типа. Эта операция позволяет «отрезать» часть контура фигуры, чтобы использовать его в дальнейшем. Чаще всего в качестве фигуры, которая служит источником точек пересечения для обрезки контура, является линия. Однако для этого можно использовать и любую другую фигуру.

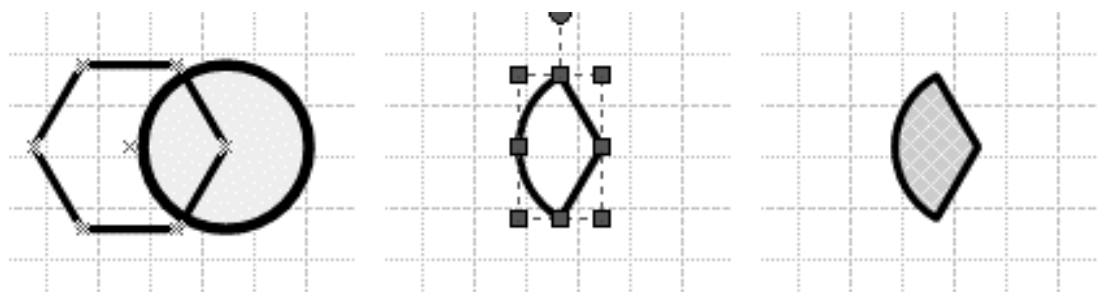


Рис. 5.5. Разделение фигур инструментом *Обрезка*

Операция деления на фрагменты (рис. 5.6) позволяет получить несколько новых фигур, которые будут являться фрагментами исходных фигур. Разделение на фрагменты осуществляется по областям, ограниченными контурными линиями. Поэтому если фигуры не пересекаются, то и разделены они не будут. После деления каждый фрагмент становится самостоятельной фигурой.

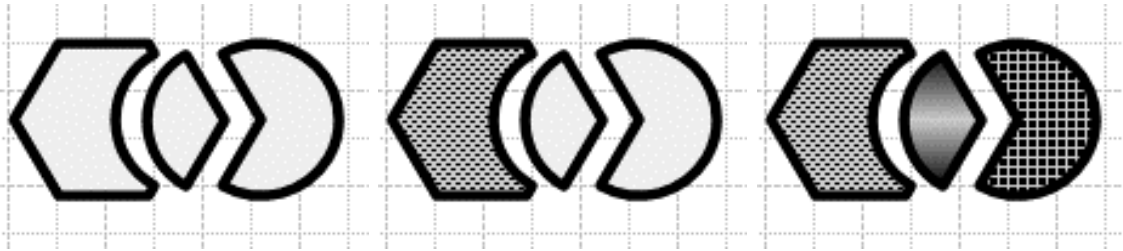


Рис. 5.6. Разделение фигур инструментом *Фрагментация*

При выполнении операции фрагментации линии, по которым было осуществлено деление, удаляются автоматически. Это связано с тем, что линия не имеет внутренней области. Таким образом, при выполнении операции разделения на фрагменты непосредственно для линий, дуг или сплайнов (даже не пересекающихся) все они будут удалены.

**5.1.5.8. Группирование.** Группировка фигур – удобное средство, позволяющее управлять поведением нескольких фигур. Число фигур, входящих в группу, ничем не ограничено – это может быть как одна, так и все фигуры на листе.

Все фигуры, подвергшиеся группировке, сохраняют свои индивидуальные свойства. Единственный параметр, который они теряют, это самостоятельность – все фигуры в группе перемещаются, вращаются и изменяют свои размеры одновременно.

При выделении сгруппированные фигуры выглядят как одна большая фигура, которая имеет все необходимые атрибуты: маркеры выделения, центр вращения, точки управления и т. д. Однако у сгруппированных фигур нет общих маркеров вершин и точек управления – здесь каждая фигура сохраняет свою «индивидуальность».

### 5.1.6. Приемы работы с документом

#### 5.1.6.1. Структура документа.

Документ Visio имеет четкую структуру, которая состоит из произвольного набора листов, предустановленных трафаретов, шаблонов и стилей. На листах размещаются изображения и фоновые рисунки, предустановленные трафареты автоматически загружаются вместе с документом, а стили и шаблоны хранятся в файле документа.

При установке Microsoft Visio в

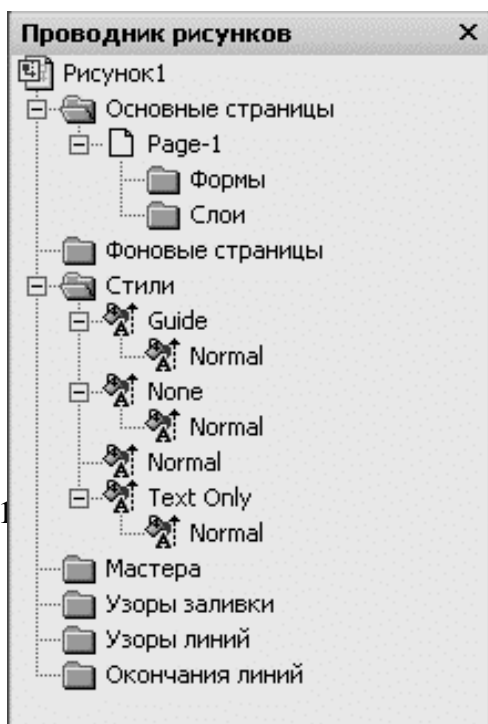


Рис. 5.7. Окно проводника рисунков

операционной системе определяются параметры, позволяющие распознавать форматы файлов, относящихся к определенным приложениям. Это дает возможность автоматически загружать файлы документов, минуя предварительную загрузку внешней оболочки приложения. Также автоматически создается ряд папок, в которых размещаются ваши документы, шаблоны, трафареты, надстройки и т. д.

Использование автоматически созданных папок не всегда удобно. Например, местом размещения ваших документов по умолчанию указывается системная папка *Мои документы*. Для документов разных приложений или направленностей при правильной планировке файловой структуры имеет смысл создать отдельные папки, вложенные в папку *Мои документы*.

**5.1.6.2. Навигация по документу.** В Visio имеется специальный инструмент (рис. 5.7), позволяющий осуществлять быстрый переход к любой фигуре или объекту документа. Инструмент навигации представляет собой всплывающее окно, которое называется *Окно проводника рисунков*, содержащее структуру текущего документа. Все значимые элементы сгруппированы в папках *Основные страницы*, *Фоновые страницы*, *Стили*, *Мастера*, *Узоры заливки*, *Узоры линий*, *Окончания линий*.

Чтобы осуществить быстрый обзор используемых в документе средств и объектов или осуществить быстрый переход к тому или иному ресурсу с помощью *Окна проводника рисунков* документа и получить доступ к свойствам листа, выделите его правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите команду *Показать лист*.

Для выделения фигуры, размещенной на выбранном листе, раскройте папку листа, откройте папку *Формы* и выберите нужную фигуру – она автоматически будет выделена и помещена в центр рабочего окна. Для выделения фигур, находящихся в определенном слое, в папке листа раскройте папку *Слои*, откройте папку соответствующего слоя и выберите нужную фигуру.

**5.1.6.3. Просмотр и редактирование изображения.** В окне редактирования одновременно может быть открыта только одна страница. Это не очень удобно, когда создается связанное изображение, часть которого расположена на одном листе, а часть – на другом.

Для отображения всех открытых окон редактирования в окне приложения (рис. 5.8) выберите команду *Окно => Плитки*.

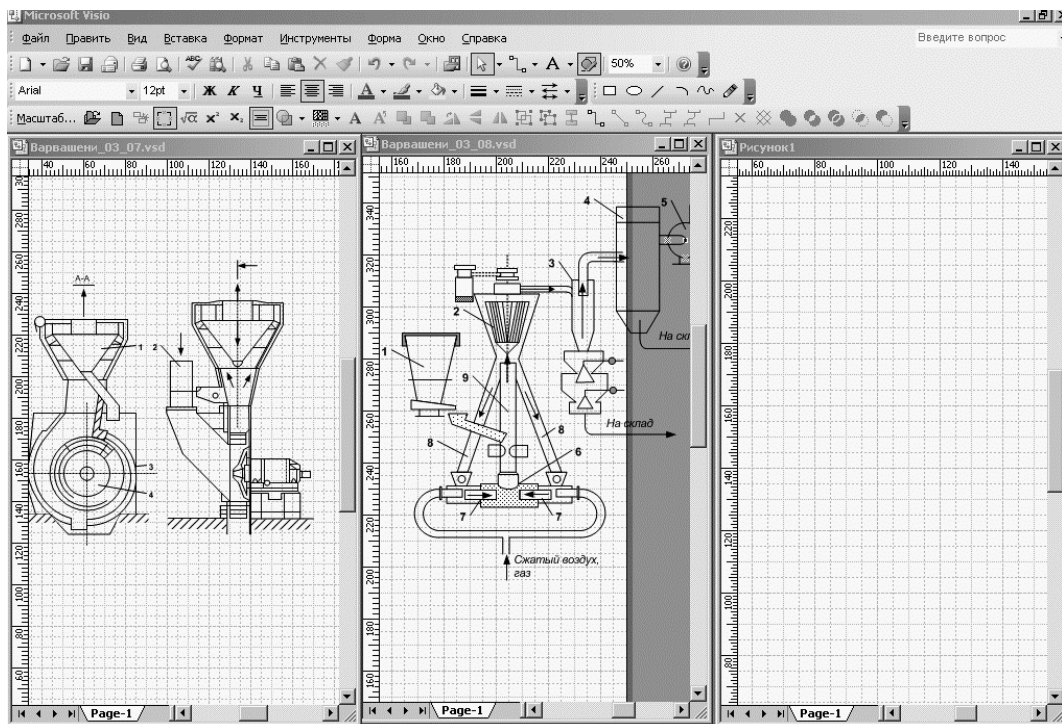


Рис. 5.8. Одновременное редактирование нескольких рисунков

Изменение масштаба просмотра изображения позволяет значительно облегчить корректировку изображений и прорисовку мелких деталей рисунка, улучшить возможности точной привязки. При изменении масштаба просмотра изображения фактический размер листа не меняется.

## 5.2. Редактор векторной компьютерной графики SmartDraw

### 5.2.1. Интерфейс

Графический редактор Smart Draw предназначен для создания средствами векторной компьютерной графики иллюстраций в виде различных диаграмм, графиков, технологических, электрических, кинематических, структурных схем, блок-схем алгоритмов, эскизов оборудования и т. д.

При загрузке приложения на экране возникает окно с предложением выбрать категорию графического объекта (рис. 5.9).

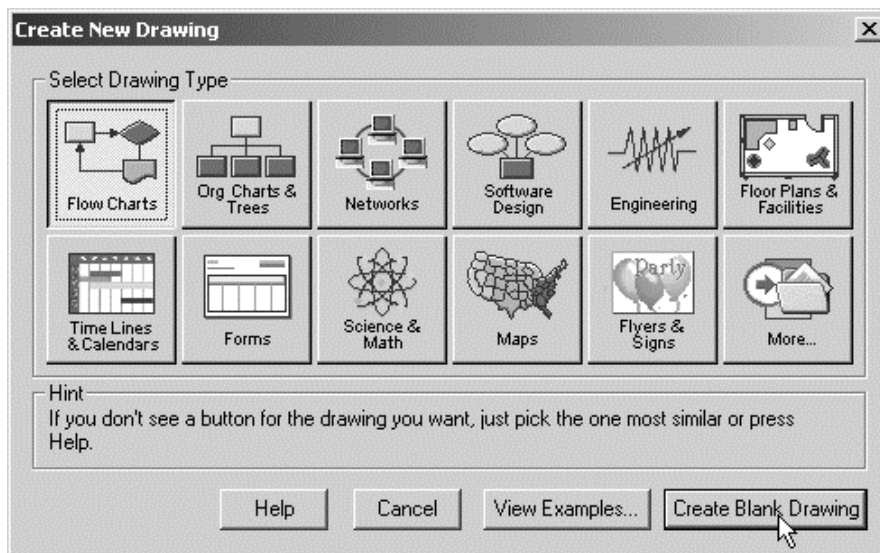


Рис. 5.9. Выбор категории изображаемого объекта

После выбора категории вызывается появление окна рабочего интерфейса (рис. 5.10), в верхней части которого располагается несколько панелей инструментов для рисования автофигур.

В левой части окна располагается список библиотек с готовыми графическими образами с трехступенчатой структурой. При набегании курсора на пиктограмму возникает всплывающее окно с перечнем содержащихся в этом разделе графических образов. Двойной щелчок левой клавишей мыши (ЛКМ) позволяет извлечь это окно в увеличенном масштабе в виде экранной формы для того, чтобы ЛКМ перетащить выбранный объект на рабочий стол (рис. 5.11).

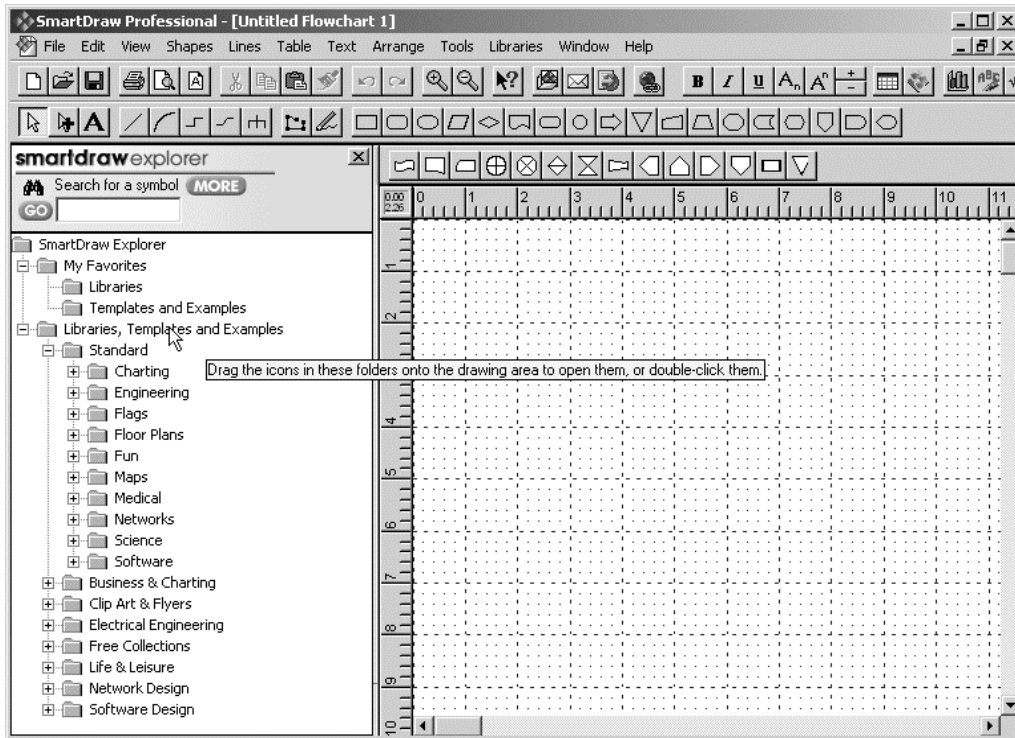


Рис. 5.10. Рабочий интерфейс Smart Draw

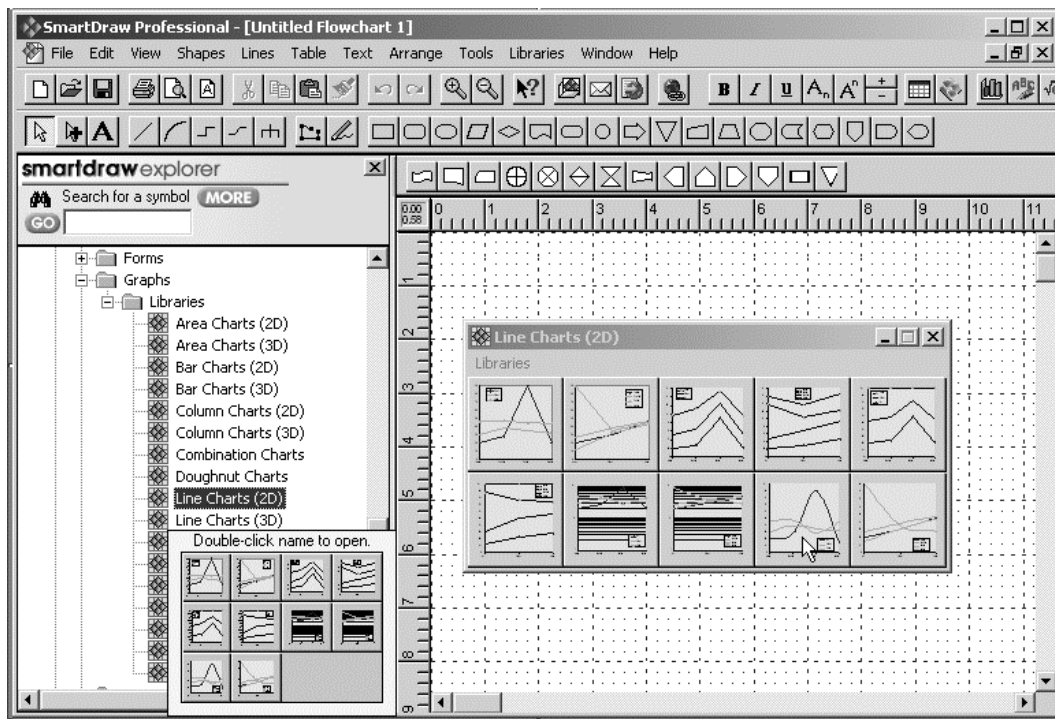


Рис. 5.11. Выбор библиотеки и шаблона

### 5.2.2. Библиотеки шаблонов

После указанных действий автоматически загружается Microsoft Graph, и дальнейшее форматирование рисунка можно производить в



среде этого приложения (рис. 5.12). Путем изменения или добавления в таблицу значений измеренных величин можно изображать весьма сложные зависимости, а также оформлять оси, сетки, легенду, изменять масштабы и цветовое решение рисунка.

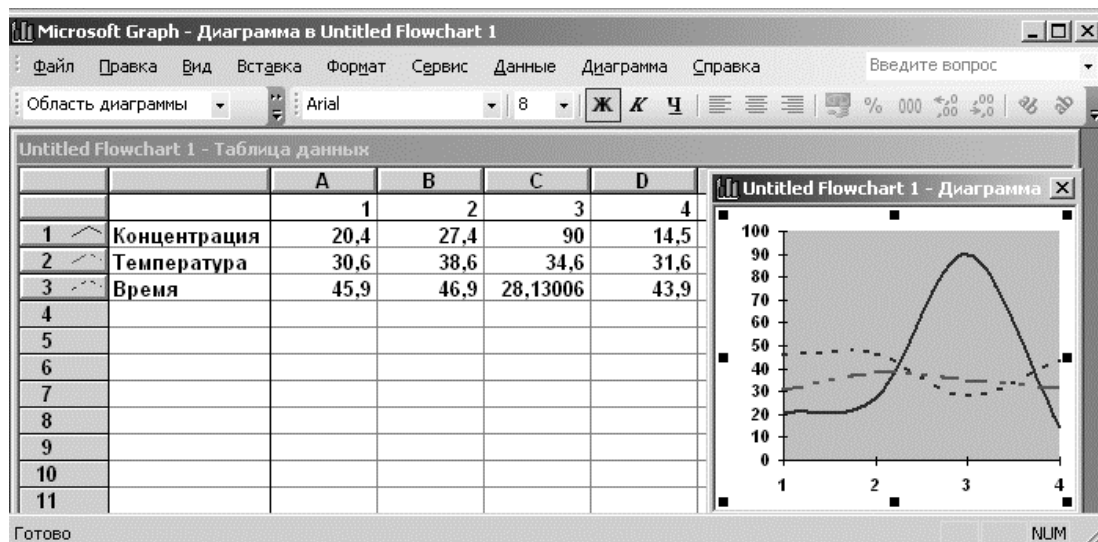


Рис. 5.12. Форматирование выбранного объекта

### 5.2.3. Палитры трафаретов

Элементы палитры трафаретов приведены на рис. 5.13.

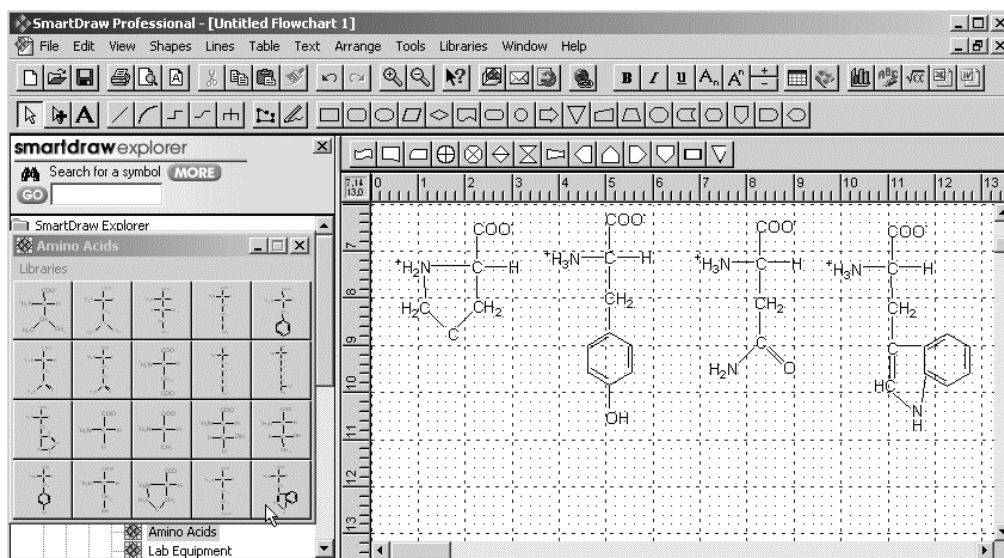


Рис. 5.13. Палитра трафаретов с фрагментами химических формул

## 5.3. Графические редакторы химических формул

Для использования в курсовых и дипломных работах можно

рекомендовать программные продукты ChemWin, ChemDraw и Chem3D (рис. 5.14–5.20). Все они построены по тому же принципу, что и редакторы векторной компьютерной графики Visio и SmartDraw. Фрагменты (заготовки) химических формул представлены командными кнопками в виде пиктограмм на панелях инструментов.

При активации пиктограмм структурные элементы формулы прорисовываются на рабочем листе.

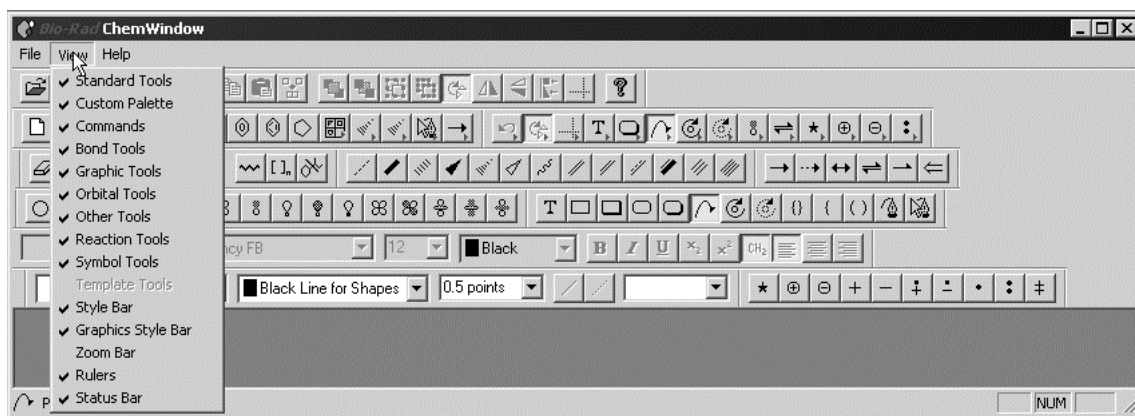


Рис. 5.14. Главное окно редактора ChemWin со списком панелей

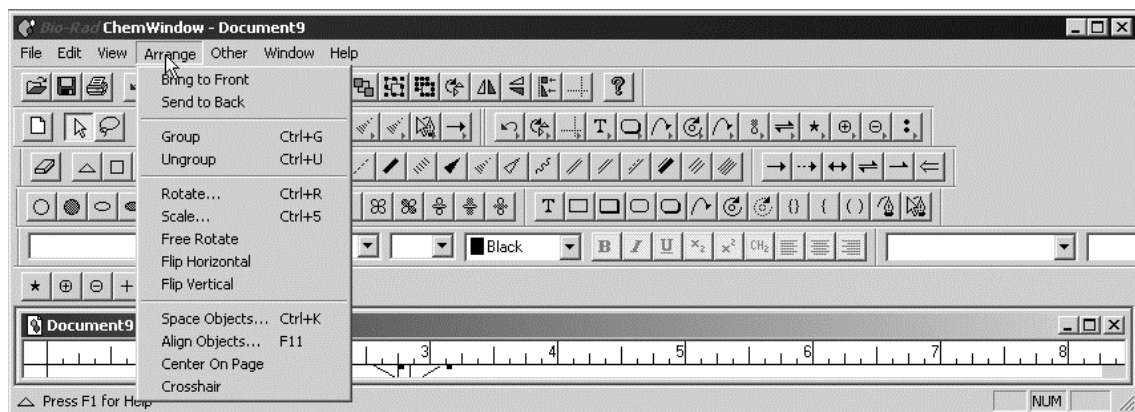


Рис. 5.15. Главное окно редактора ChemWin со списком операций

В редакторе ChemWin (рис. 5.16, 5.17) процесс формирования химической формулы сводится к переносу на рабочий лист и пристыковыванию друг к другу звеньев формулы, связей, функциональных групп и комментариев.

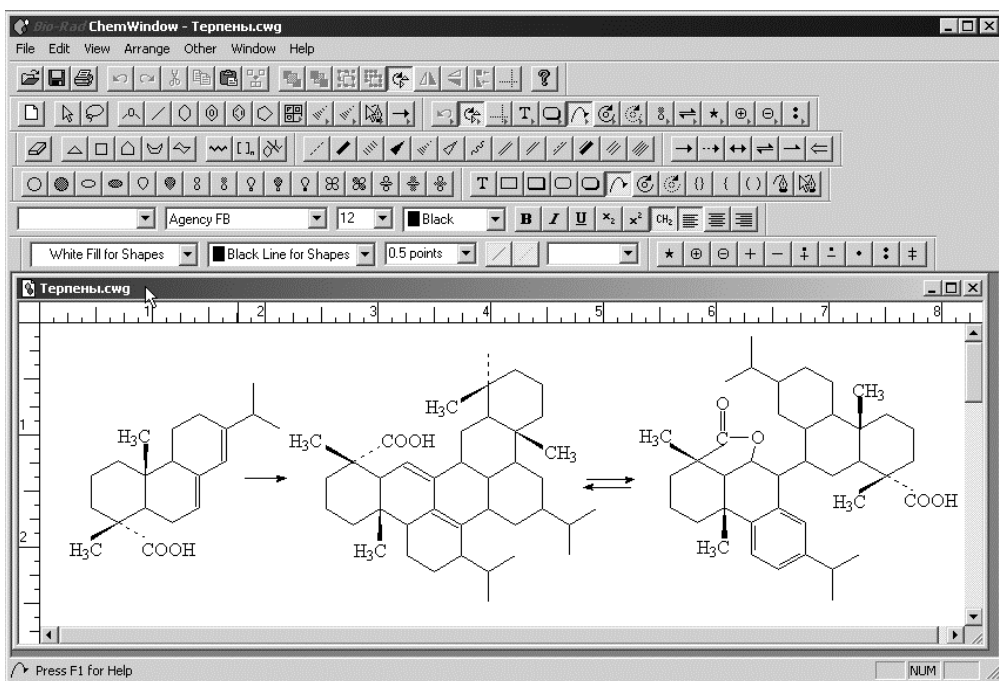


Рис. 5.16. Первый рабочий лист каскада

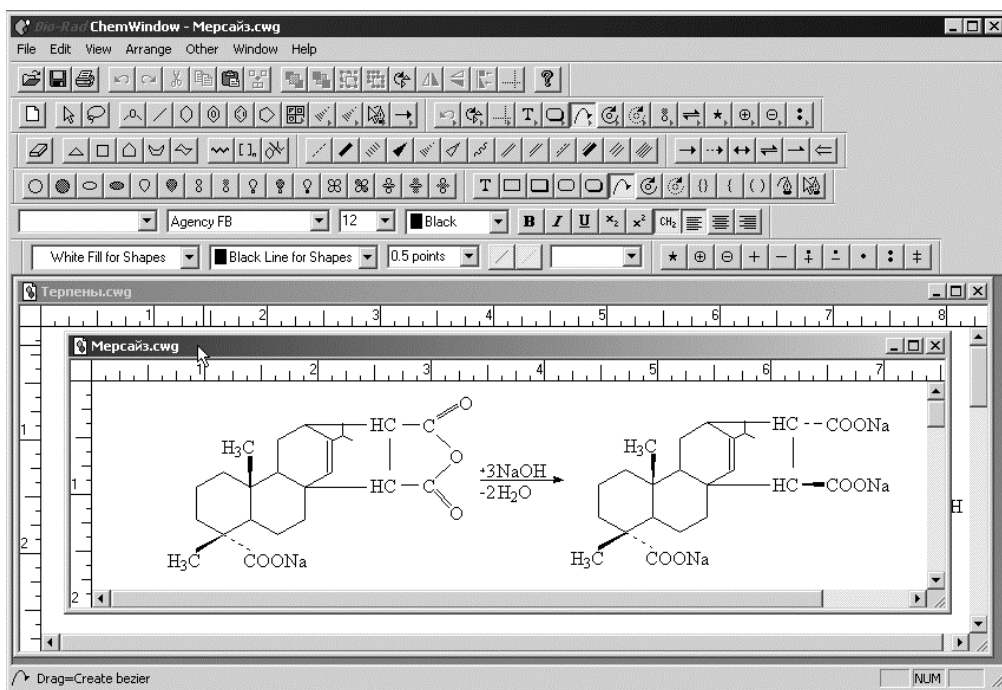


Рис. 5.17. Второй рабочий лист каскада

Создание формул в редакторе ChemDraw (рис. 5.18 и 5.19) можно осуществлять уже готовыми блоками по классам, например, аминокислот, ароматических, гетероциклических соединений, циклоалкилов, углеводов и др.

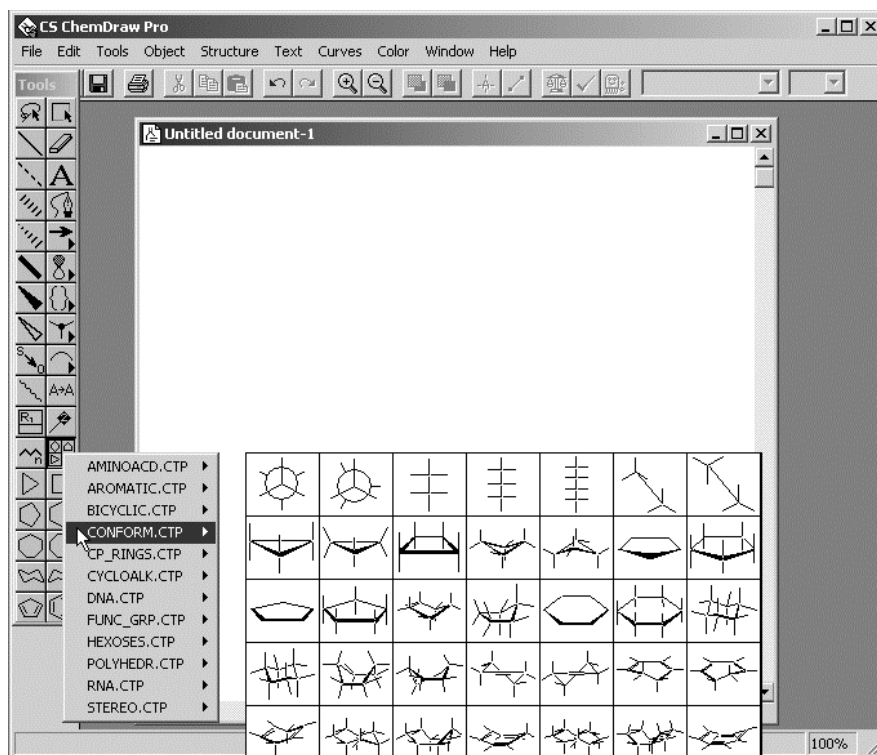


Рис. 5.18. Окно редактора ChemDraw с палитрой шаблонов конформационных форм циклических углеводов

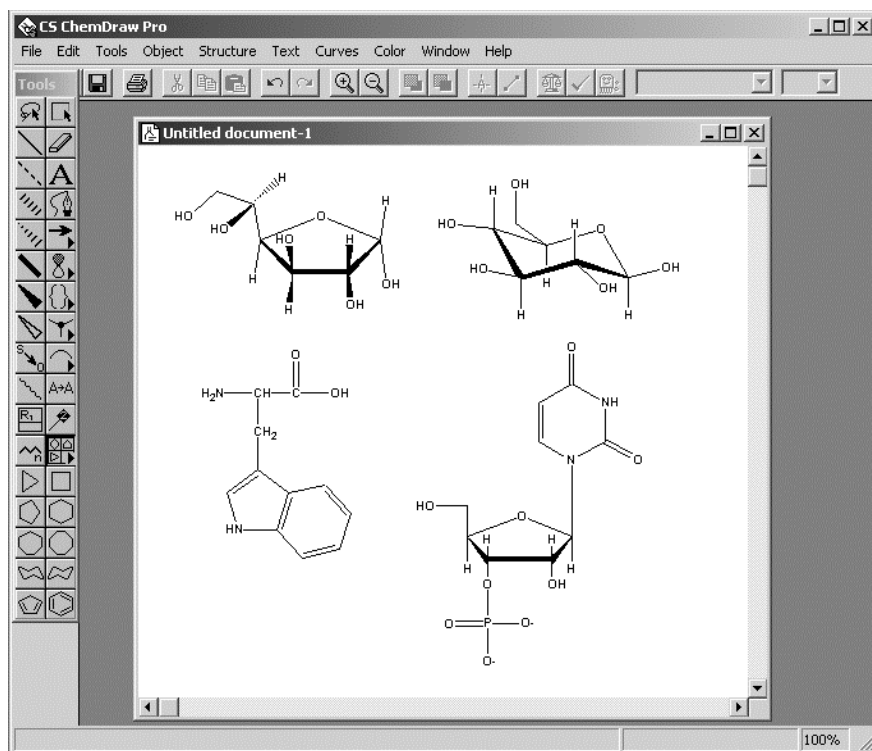


Рис. 5.19. Рабочий лист редактора с перенесенными шаблонами готовых химических формул

Редактор Chem3D (рис. 5.20) позволяет изображать химические формулы в объемном виде с учетом межатомных расстояний и направлений связей. Причем при поворотах формул по осям размеры атомов изменяются в соответствии с законами перспективы.

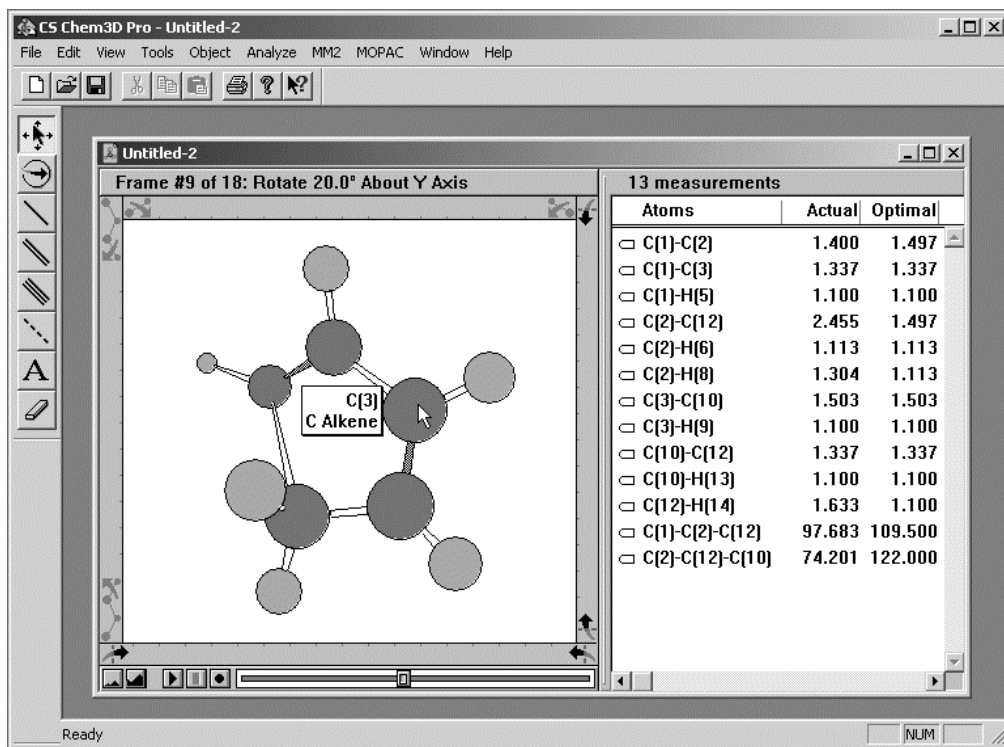


Рис. 5.20. Главное окно редактора Chem3D

Приемы создания объемных формул в редакторе Chem3D отличаются от приемов, описанных в предыдущих редакторах. Нарращивание формулы осуществляется путем указания типа связи между атомами углерода (одинарная, двойная или тройная).

## 6. СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

### 6.1. Программный продукт HelpScribble

#### 6.1.1. Особенности инсталляции

При разработке этого пакета предполагалось, что на компьютере будет установлена программная среда Delphi, поэтому некоторые необходимые для корректной работы HelpScribble файлы не инсталлируются при запуске Setup. Чтобы обеспечить работоспособность HelpScribble, три отмеченные на рис. 6.1 файла необходимо скопировать из инсталляционного пакета в директорию C:\Program Files\HelpScribble на системном диске.

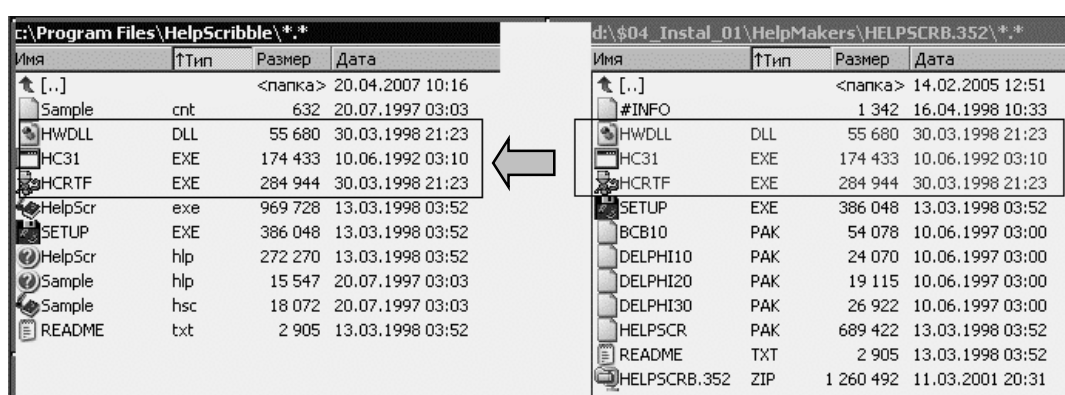


Рис. 6.1. Копирование отмеченных файлов из инсталляционного пакета на системный диск

Регистрацию программы нужно производить в соответствии с информацией, содержащейся в текстовом файле #INFO: Name: EPIDEMiC; Numb: HScr-000001EE362B68B0.

#### 6.1.2. Предварительная подготовка

Прежде чем формировать Help-файл, необходимо все таблицы, формулы и рисунки, встречающиеся в текстовом документе, сохранить в формате \*.bmp, сосредоточив их в соответствующем каталоге, причем имена этим графическим файлам лучше присваивать латинскими буквами по нумерации их в основном документе. Например, Ris\_01.bmp, Form\_03.bmp, Tabl\_05.bmp и т. д.

Имена топиков (разделов справочной системы) и рисунков не должны включать пробелы, скобки, точки, тире, кавычки, запятыя, арифметические и логические символы.

В графический формат иллюстрации лучше всего переводить с помощью приложения Mspaint. Поместив в буфер обмена таблицу,

формулу или рисунок, вставляя его в Mspaint следует после уменьшения размеров поля на планшете, не превышающих размеры формулы, таблицы или рисунка. После вставки содержимого буфера обмена границы поля автоматически расширятся до требуемых размеров. Пример вставки объекта показан на рис. 6.2.

В меню *Файл* выбрать пункт *Сохранить как*, указать *Тип файла – 24-разрядный рисунок [\* bmp, \*.dib]* и ввести путь, куда следует сохранить графический файл.

### 6.1.3. Рабочий интерфейс

Главное окно рабочего интерфейса (рис. 6.3) состоит из трех частей: сверху располагаются панели инструментов, слева – список разделов документа (топиков), справа – планшет для размещения текстового и графического материала очередного раздела. Для удобства освоения размещения и назначения командных кнопок на панели инструментов в табл. 6.1 приведены их увеличенные пиктограммы и толкование.

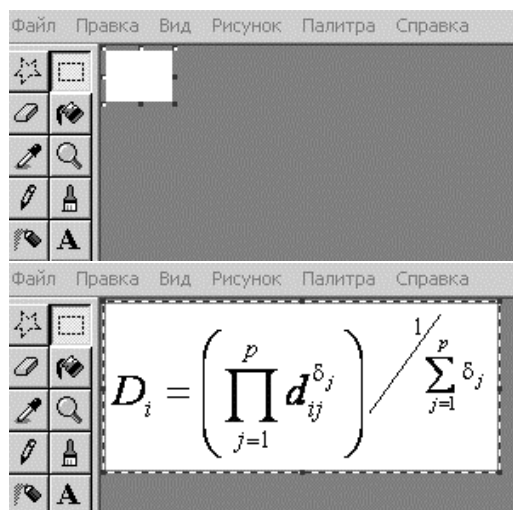


Рис. 6.2. Вставка объекта

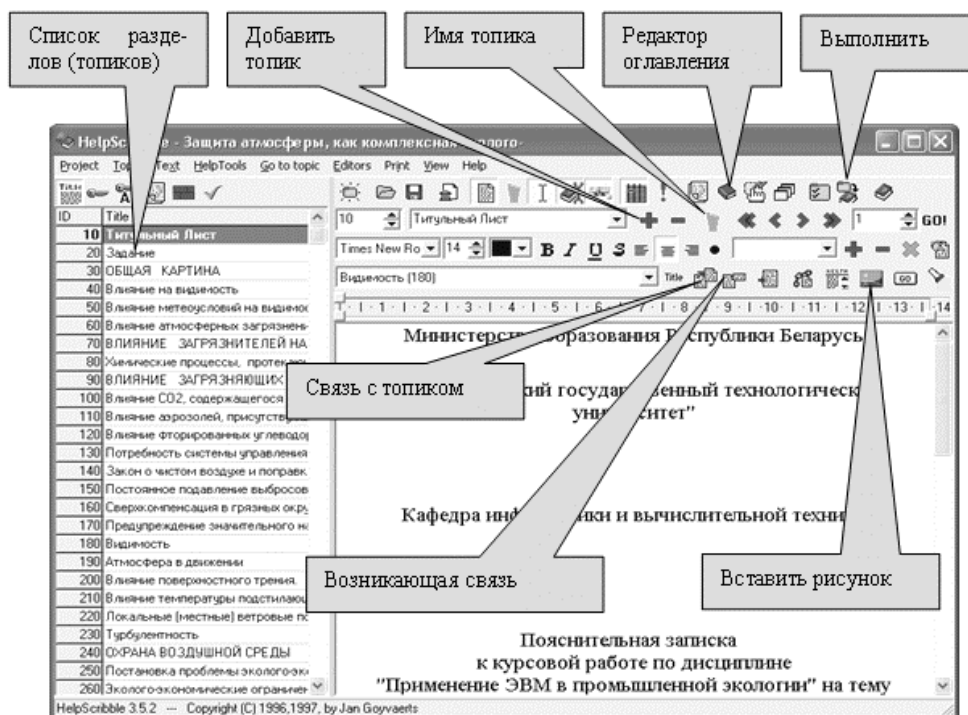


Рис. 6.3. Рабочий интерфейс

Таблица 6.1

### Функциональное назначение командных кнопок

|  |  |
|--|--|
|  | Опции проекта  |
|  | Добавить топик                                       |
|  | Привязка топиков (титул – номер)                     |
|  | Связать с указанным топиком (вставка в документ)     |
|  | Возникающий справочный текст связанного топика       |
|  | Вставить графический объект ( <i>Insert bitmap</i> ) |
|  | Создать и отредактировать оглавление                 |
|  | Выполнить компиляцию                                 |

#### 6.1.4. Формирование разделов (топиков)

Каждый раздел (топик) файла справки имеет две характеристики – титул (имя топика) и наименование раздела.

Имя топика лучше делать коротким, а наименование раздела можно вводить полностью, но только в одну строку.

На рис. 6.4 показана процедура получения первого топика, который имеет имя Rules, а раздел, соответствующий этому имени,



называется «Правила оформления».

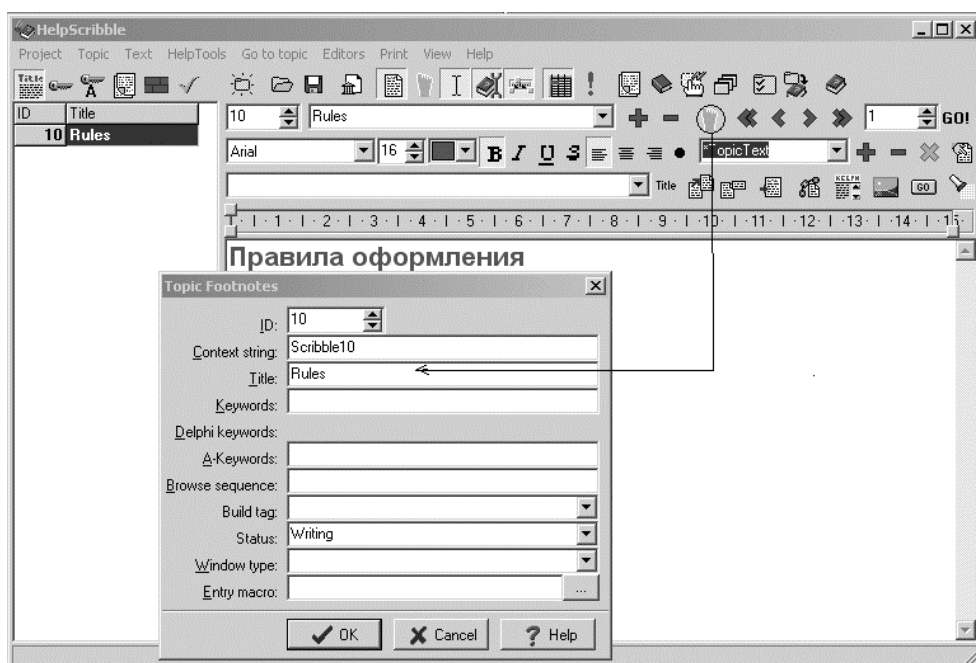


Рис. 6.4. Процедура получения первого топика

Следующий топик в списке получается при нажатии на командную кнопку «+» (рис. 6.5).

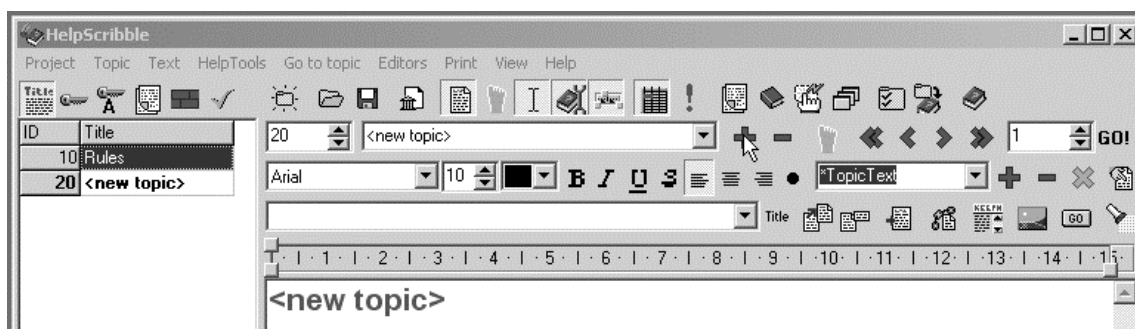


Рис. 6.5. Получение нового (очередного) топика

На первую страницу можно вставить какой-нибудь рисунок, который после компиляции будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 6.6.

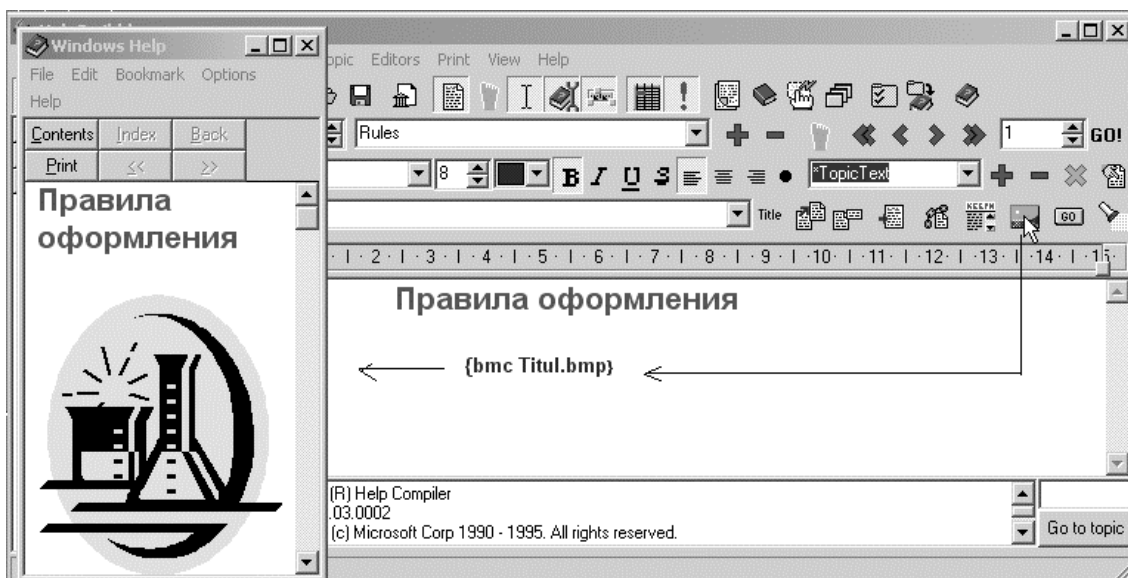


Рис. 6.6. Добавление рисунка

### 6.1.5. Настройка опций проекта

Чтобы получить Help-файл, необходимо настроить опции проекта (рис. 6.7).

Поиск местонахождения компилятора осуществляется автоматически после нажатия на кнопку *Find help compilers*.

Если документ находится в процессе создания, и местонахождение директории рисунков не меняется при связывании, то строка *Bitmap paths* заполняется автоматически, но если создание документа продолжается на другом компьютере, то необходимо указать уточненное местонахождение рисунков.

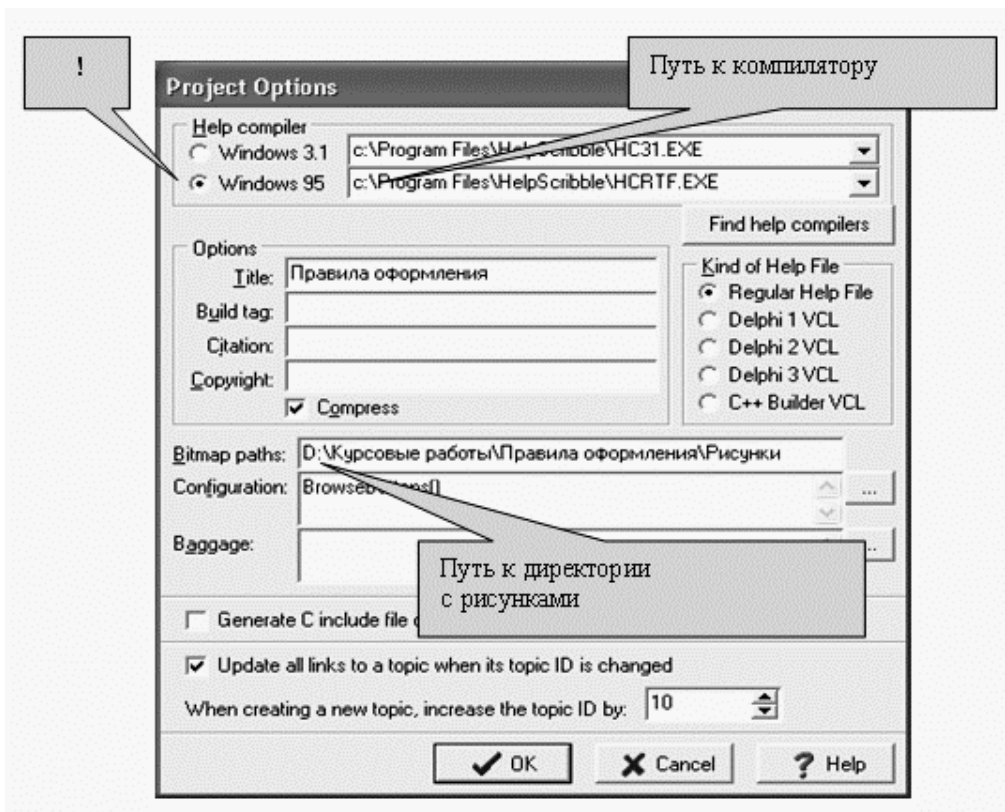


Рис. 6.7. Опции проекта

Следует иметь в виду, что если в копируемом тексте встречаются формулы, таблицы или рисунки, то они непосредственно в текст топика не вставляются. Их необходимо связывать через *Insert bitmap*.

#### 6.1.6. Создание и редактирование оглавления

При формировании структуры оглавления (рис. 6.8) следует придерживаться следующих правил:

- если нужно создать наименование главы (значок в виде книжечки), то флажок в списке *Contents Item* следует поставить на строке *Header*, тогда заполняется только поле *Title*;

- если нужно озаглавить подраздел (значок в виде вопросительного знака), то флажок ставится на строке *Link to this help file* и заполнять надо два текстовых поля: *Title* (наименование раздела) и *Topic* (имя топика с номером связи).

Включение очередного топика в оглавление осуществляется с помощью командной кнопки « + Add ».

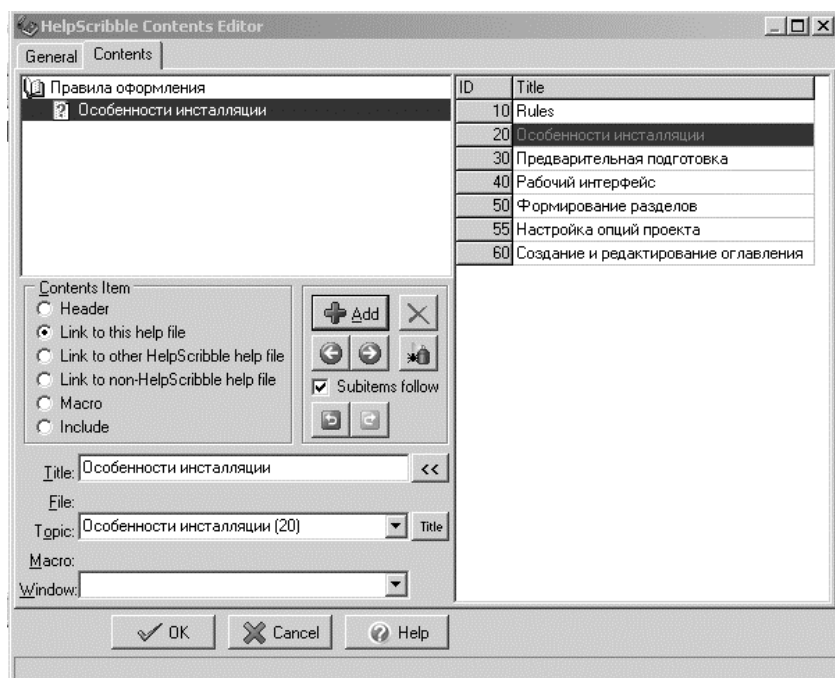
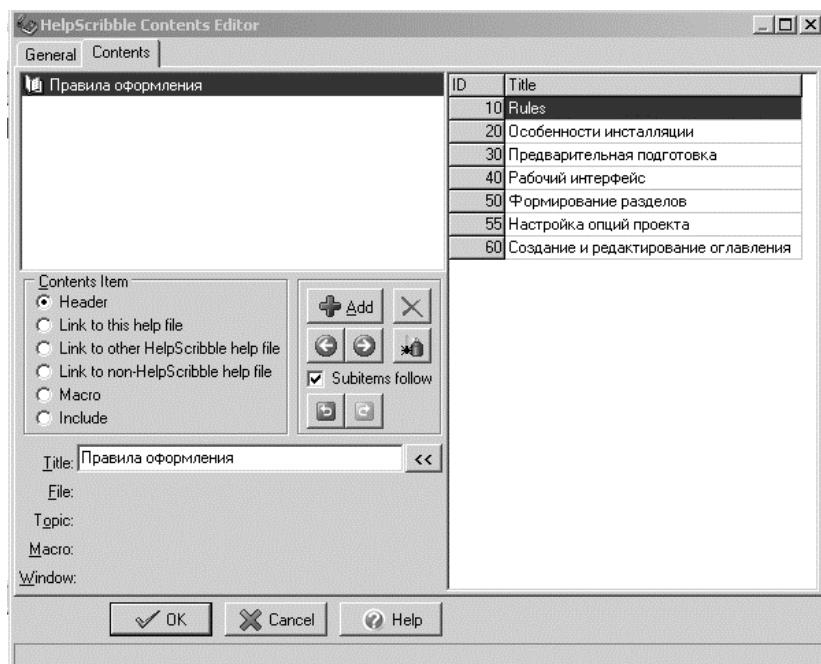


Рис. 6.8. Формирование структуры оглавления

После того, как сформирована структура оглавления, которая может выглядеть, например, так, как показано на рис. 6.9, можно запустить проект на компиляцию (рис. 6.10).

Использование возможности составления оглавления с помощью сервисной программы позволяет избежать возможных ошибок и обеспечивает необходимый уровень форматирования.

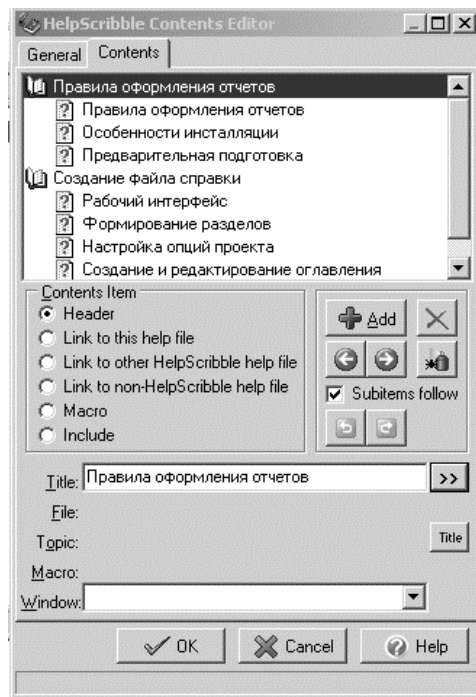


Рис. 6.9. Структура оглавления

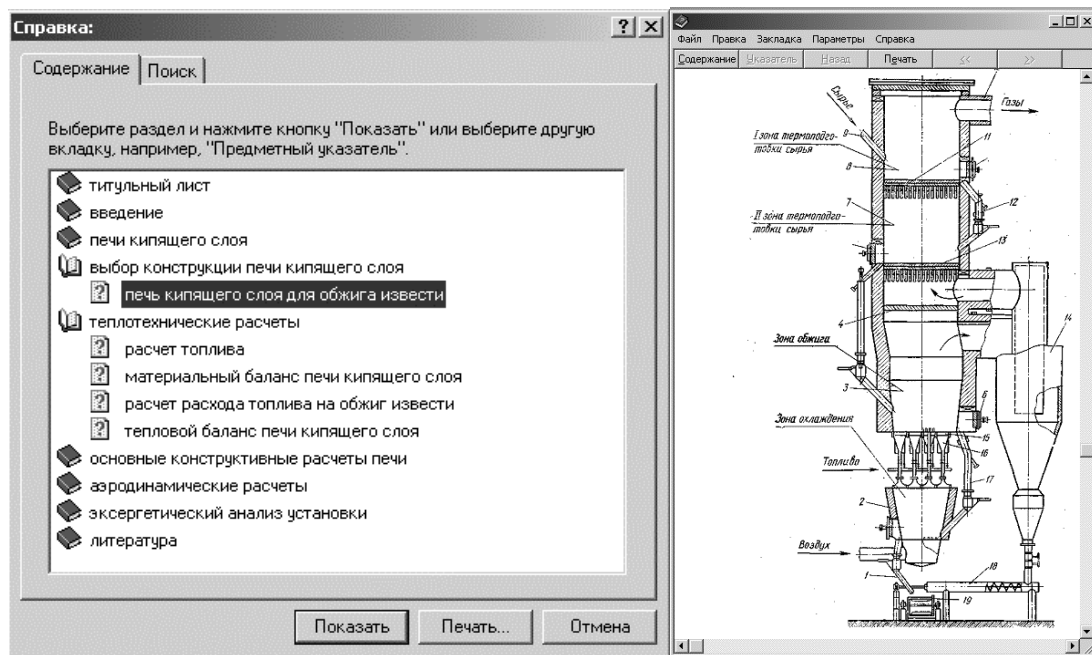


Рис. 6.10. Общий вид скомпилированного Help-файла

## 6.2. Редактор гипертекстовых справочных систем htm2chm

Создание компьютерной справочной системы в настоящем пособии рекомендуется осуществлять в формате HTML с помощью

самого простого программного средства Htm2chm.exe, которое позволяет легко получать Help-файлы со сложной иерархической структурой с включением растровых и векторных графических иллюстраций и видеоклипов.

При создании Web-страничек из среды текстового редактора WinWord этот Help-maker автоматически создает графические файлы иллюстраций (в том числе и математических выражений), а затем внедряет их в справочный документ.

### **6.2.1. Предварительная подготовительная работа**

Перед тем, как загружать Help-maker Htm2chm.exe, необходимо провести подготовительную работу.

Во-первых, нужно сформировать структуру справочного документа, разделы которого будут являться именами и заголовками создаваемых файлов. Из общего информационного файла, предназначенного для получения файла-справки, нужно создать файлы-разделы. Для этого необходимо с помощью заранее заготовленного шаблона создать и озаглавить очередной файл-раздел из файла-структуры документа, выделить нужный фрагмент текста, скопировать его в буфер обмена и вставить в новый документ из буфера обмена текст раздела.

Таким образом, этапами подготовительной работы являются:

- создание общего информационного файла в редакторе WinWord;
- формирование структуры документа (общий вид с необходимым количеством подразделов);
- создание файлов-разделов из общего информационного файла;
- формирование директории после разбиения документа на разделы;
- присвоение заголовков каждому файлу-разделу;
- сохранение файлов-разделов в формате HTML;
- формирование директории после переформатирования текста.

**6.2.1.1. Общий информационный файл.** Общий информационный файл подготавливается заранее средствами текстового редактора WinWord. Общий файл должен содержать все рисунки, все таблицы и все формулы в соответствующих местах документа. Для получения информационно-справочной системы не требуется выносить рисунки, формулы и таблицы в отдельные файлы. Однако для того, чтобы в будущем созданные вами графические иллюстрации можно было редактировать, необходимо все рисунки, созданные средствами векторной компьютерной графики, представлять *в виде отдельных файлов*, сохраненных в том формате, в котором они выполнялись.

**6.2.1.2. Структура справочной системы.** Чтобы отчетливо понимать, какую справочную систему мы хотим создать, рекомендуется ее структуру представить сначала в виде оглавления со всеми подзаголовками общего информационного документа, сохраненного в формате WinWord.

**6.2.1.3. Подготовка файлов-разделов.** Для получения файла-справки нужно создать файлы-разделы. Для этого в среде WinWord необходимо выделить нужный фрагмент текста, взять его в буфер обмена, нажать на стандартной панели кнопку *Создать* и вставить его в создаваемый раздел документа.

**6.2.1.4. Создание заголовков файлов-разделов.** Файл текста раздела нужно озаглавить (именно «озаглавить», а не присвоить ему имя файла). Для этого на верхней панели нажать командную кнопку *Файл*, в появившемся выпадающем списке выбрать пункт *Свойства*. Появится диалоговое окно *Свойства* (рис. 6.11).

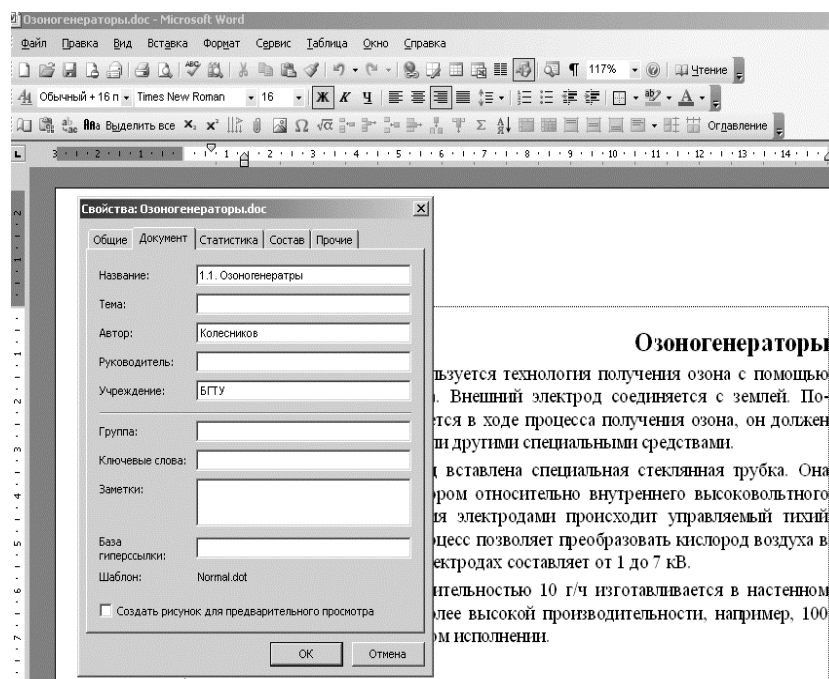


Рис. 6.11. Присвоение заголовка разделу документа

В поле *Название* необходимо ввести заголовок раздела, под которым он будет выступать в конечном help-файле. В этом же окне можно указать авторство.

**6.2.1.5. Создание файлов-разделов в формате HTML.** Текст раздела необходимо сохранить в другом формате – \*.htm. Для этого в списке *Файл* верхнего меню (рис. 6.12) нужно выбрать строку

Сохранить как. После этого в строке *Тип файла* следует открыть список и выбрать строку *Веб-страница (\*.htm, \*.html)*.

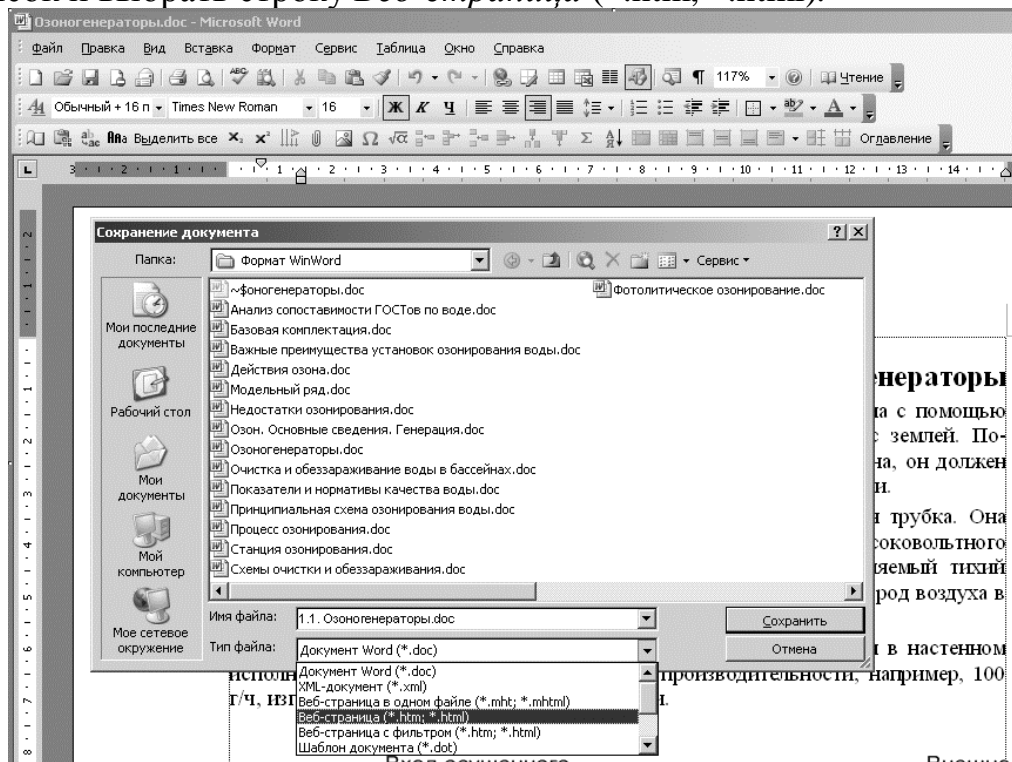


Рис. 6.12. Сохранение раздела документа в формате HTML

Для файлов-разделов лучше создать отдельный каталог (рис. 6.13, 6.14). При этом следует иметь в виду, что все иллюстрации автоматически будут переведены в графические форматы, собраны и сохранены в отдельном каталоге с именем наименования раздела.

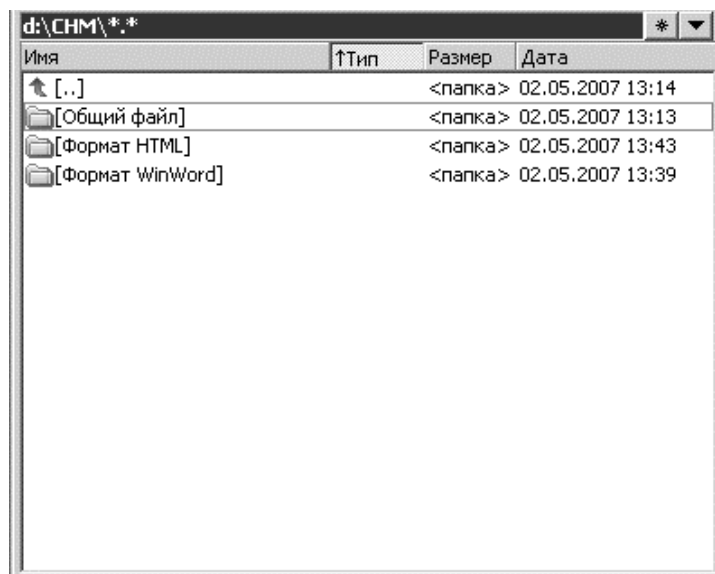




Рис. 6.13. Каталог для размещения  
всех вспомогательных файлов

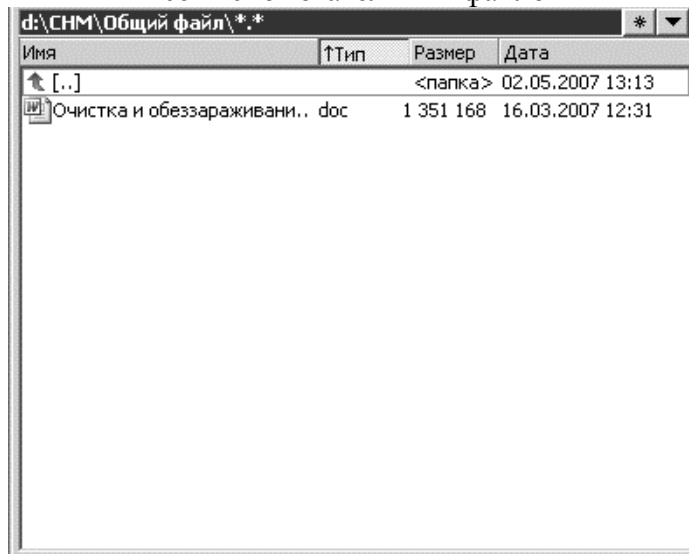


Рис. 6.14. Папка «Общий файл»  
с текстом курсовой работы в формате .doc

**6.2.1.6. Директория с файлами формата WinWord.** Обратите внимание – все файлы в директории *Формат WinWord* однородны, представлены в одном формате и расположены в алфавитном порядке (рис. 6.15).

**6.2.1.7. Директория с файлами формата HTML.** Заметьте, что пиктограммы в этой директории несколько отличаются от классического «вордовского» начертания. Кроме того, появились новые папки с именами разделов HTML, в которых собраны все графические иллюстрации, относящиеся к данному разделу (рис. 6.16).

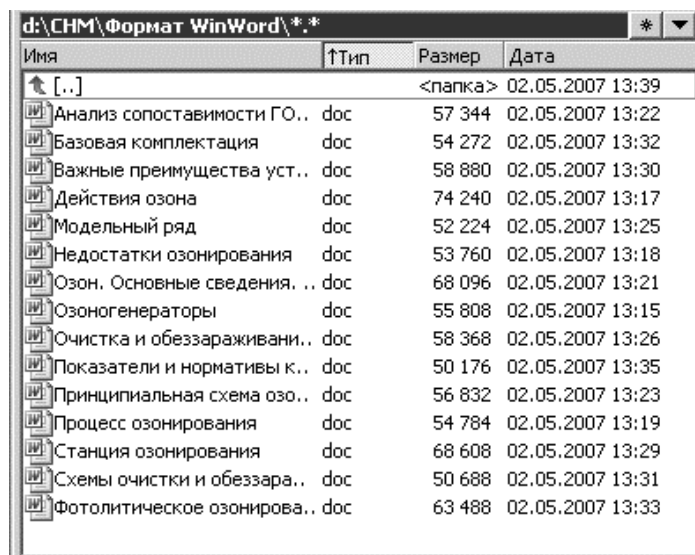


Рис. 6.15. Содержание директории с разделами документа в формате .doc

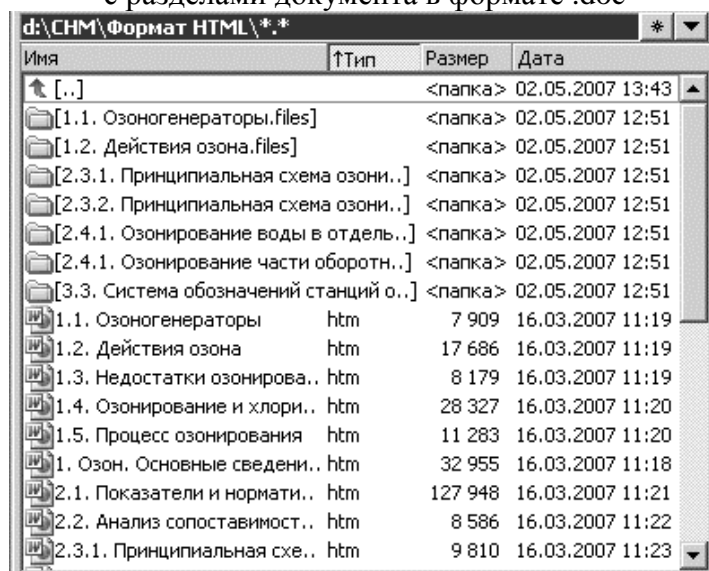


Рис. 6.16. Содержание директории с разделами документа в формате .htm

## 6.2.2. Основные сведения о программном средстве

Обратимся к рис. 6.17, где показано главное окно редактора, и к табл. 6.2 с описанием командных кнопок редактора.

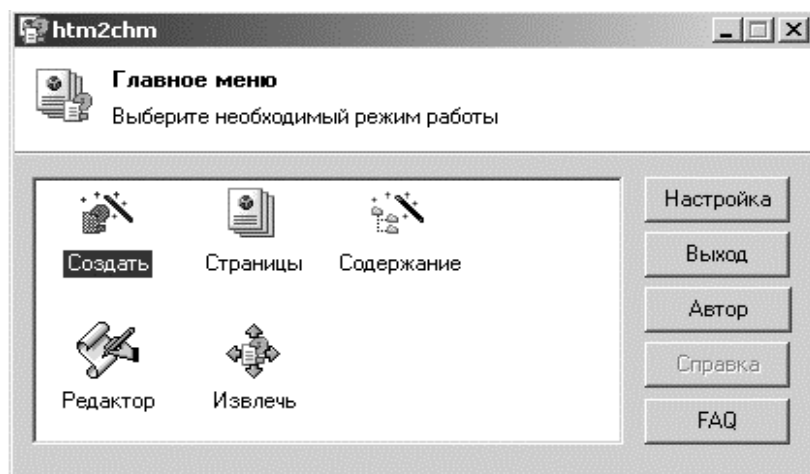







Рис. 6.17. Главное окно редактора

Таблица 6.2

**Назначение командных кнопок редактора**

| Пиктограмма  | Назначение  |
|--|---|
| <br>Создать | Когда готов файл содержания (оглавления), эта командная кнопка загружает компилятор для создания файла информационно-справочной системы |

| Пиктограмма   | Назначение   |
|---|--|
| <br>Страницы   | Редактирование текста раздела в среде Word                                 |
| <br>Содержание | Генерирование содержания<br>(с этого надо начинать создание файла-справки) |
| <br>Редактор   | Редактор файла содержания  |
| <br>Извлечь    | Из скомпилированного help-файла позволяет извлечь файлы-разделы            |

**6.2.2.1. Загрузка программы.** Основной файл Htm2chm.exe автоматически создает файл справки в формате \*.chm. В главном меню нужно нажать кнопку *Содержание*.

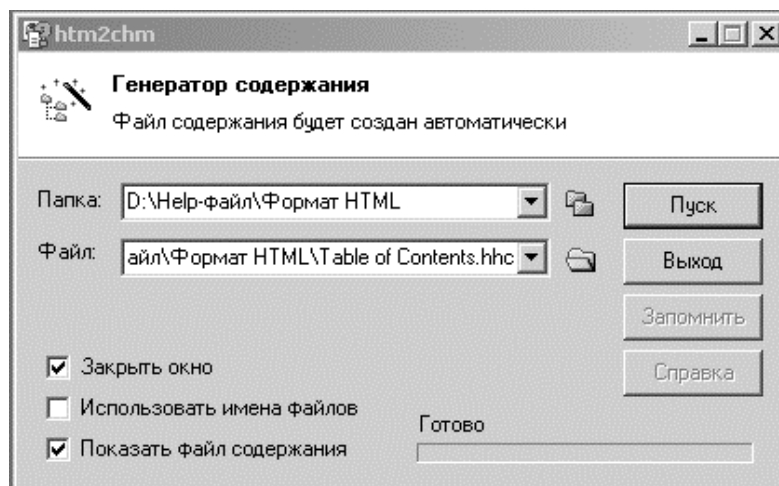


Рис. 6.18. Диалоговое окно *Генератор содержания*

Появится окно *Генератор содержания* (рис. 6.18), в котором нужно нажать кнопку *Выбрать папку*, появится окно *Обзор папок*, где следует указать путь к директории файлов-разделов в формате \*.htm; при этом пустые поля строк *Папка* и *Файл* автоматически заполняются информацией.

**6.2.2.2. Файл содержания.** В строке *Файл* текст *Table of Contents* можно заменить именем файла-содержания по своему усмотрению, а можно (даже лучше!) оставить его без изменения. После этого нажать кнопку *Пуск* – появится окно с заготовкой файла-содержания.

На левой панели будет сформирован список файлов-разделов в алфавитном порядке. Если списка на левой панели не будет, его надо создать путем перетаскивания курсором файлов из правой панели.

**6.2.2.3. Перечень разделов информационно-справочной системы.** После загрузки программы, определения директории создаваемой информационно-справочной системы и имени файла содержания нажатием на командную кнопку *Пуск* вызываются две панели с перечнем разделов (рис. 6.19). Правая представляет собой дерево разделов, а в левой в алфавитном порядке содержатся заголовки разделов справочной системы. Обратите внимание, что в каталоге системы появился новый файл с именем *Table of Contents.hhc*. Это заготовка файла содержания. С левой панелью предстоит дальнейшая работа по упорядочиванию разделов и их рубрикации.

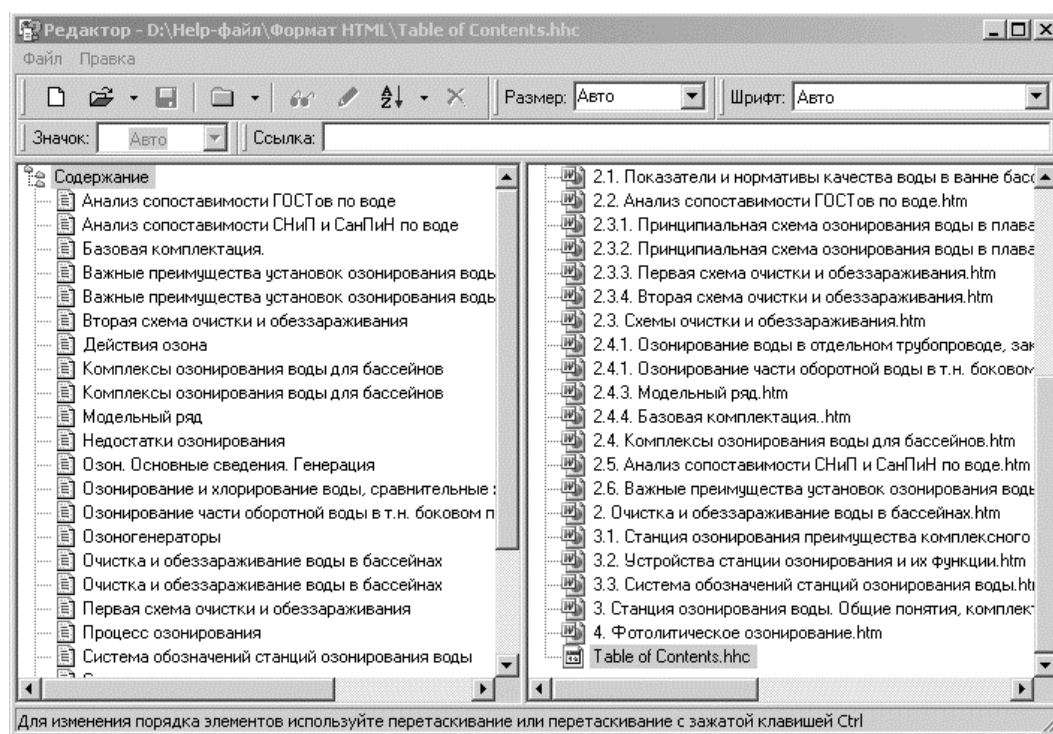


Рис. 6.19. Создание файла содержания (*Table of Contents.hhc*) и заготовки разделов содержания в алфавитном порядке

### 6.2.3. Приемы работы с программой

**6.2.3.1. Последовательность выполнения операций.** Для получения файла справочной системы необходимо выполнить следующие действия:

- загрузить программу *Htm2chm.exe*;
- командной кнопкой *Содержание* запустить генератор файла

содержания;

- получить перечень разделов информационно-справочной системы;
- упорядочить структуру информационно-справочной системы;
- осуществить рубрикацию содержания;
- сохранить файл содержания;
- компилировать файл информационно-справочной системы.

**6.2.3.2. Перечень разделов справочной системы.** После того, как вы запустите программу и определите адрес, по которому вы хотите создавать свою справочную систему, и нажмете *Пуск*, развернутся две панели. Справа будет дерево каталогов, а слева перечень разделов в алфавитном порядке, который вы подготовили, присвоив заголовки разделам в формате \*.doc и сохранив их в формате \*.htm.

**6.2.3.3. Упорядочивание разделов справочной системы.** Упорядочивание осуществляется достаточно просто. ЛКМ заголовки разделов нужно перетаскивать **снизу вверх** в соответствии с их положением в справочной системе.

**6.2.3.4. Рубрикация содержания** (рис. 6.20). Для того чтобы в этом примере раздел *Озон. Основные сведения. Генерация* стал главой *Озон. Основные сведения. Генерация*, нужно при удерживаемой клавише *Ctrl* левой клавишей мыши нижележащий раздел *Озоногенераторы* надвинуть вверх на *Озон. Основные сведения. Генерация*.

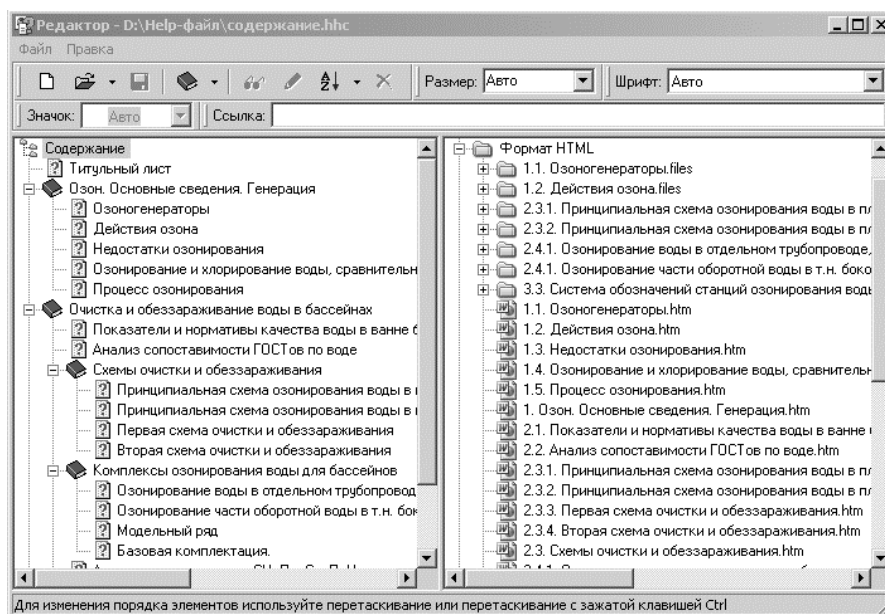


Рис. 6.20. Рубрикация разделов содержания

Простой операции смещения вправо всех разделов, входящих в данную главу, найти не удалось. Приходится нижележащий раздел перетаскивать наверх, а потом возвращать его на свое место.

Со следующими главами поступаем аналогичным образом.

#### **6.2.3.5. Создание файла оглавления справочной системы.**

После того, как осуществлена рубрикация разделов системы, оглавление фактически готово. Только его необходимо сохранить. Сохранение возможно двумя способами:

– первый способ сохранения оглавления – просто нажать на пиктограммку *Сохранить изменения*;

– второй способ – выполнить последовательность действий *Файл – Сохранить*.

#### **6.2.4. Получение Help-файла**

##### **6.2.4.1. Основные операции процесса получения Help-файла.**

Процесс получения Help-файла складывается из следующих операций:

вызов диалогового окна *Мастер преобразования* кнопкой *Создать* Главного меню программы;

строка *Формат* остается без изменения – *Справка Help*;

указание имени файла содержания в графе *Название*;

указание папки, где сосредоточены файлы-разделы в формате HTML для выбора Главной страницы;

указание пути и имени Help-файла в строке *Выход*, например, *Информационно-справочная система*.

**6.2.4.2. Настройки компиляции.** Компилировать Help-файл можно лишь после того, как был создан и сохранен файл содержания.

Рис. 6.21 поясняет процедуру настройки компиляции справочной системы.

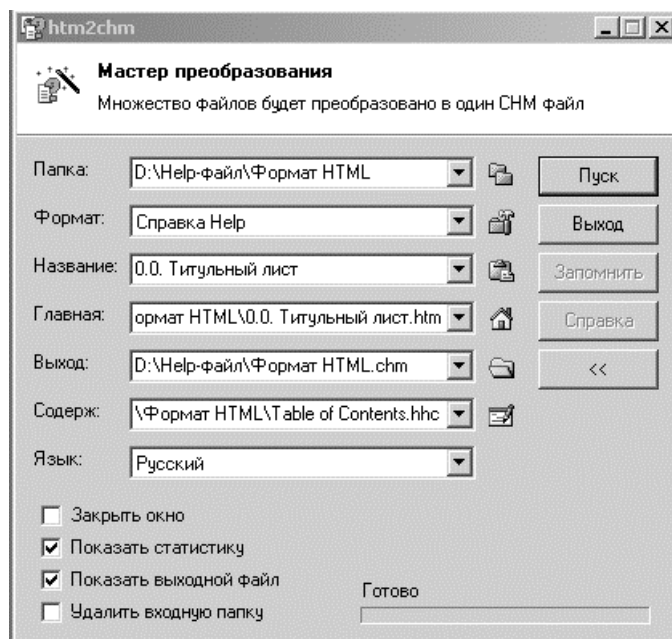


Рис. 6.21. Диалоговое окно с настройками компиляции

Настройка начинается после запуска программы путем нажатия кнопки *Создать*. В диалоговом окне Мастер преобразования нужно заполнить следующие текстовые поля:

*Выбор папки.* Указывается адрес папки, где «лежат» все файлы формата HTML.

*Название.* В выпадающем списке выбирается имя файла содержания под тем именем, под которым он был сохранен при создании.

*Выбор главной.* В выпадающем списке, где «лежит» файл содержания, выбирается раздел под тем именем, под которым он был сохранен при создании, и который будет возглавлять справочную систему. Обычно это раздел титульного листа.

*Выход.* Здесь следует указать путь и имя готового файла информационно-справочной системы. Строка *Содержание* предусмотрена для его редактирования.

**6.2.4.3. Запуск компиляции.** Получение файла-справки производится кнопкой *Пуск* в окне *Мастер преобразования* после заполнения всех пустых строк этого окна.

**6.2.4.4. Просмотр созданного Help-файла.** По тому адресу и имени, которые мы указали в диалоговом окне *Настройки* в поле *Выход*, находим файл и двойным «кликом» открываем его (рис. 6.22).



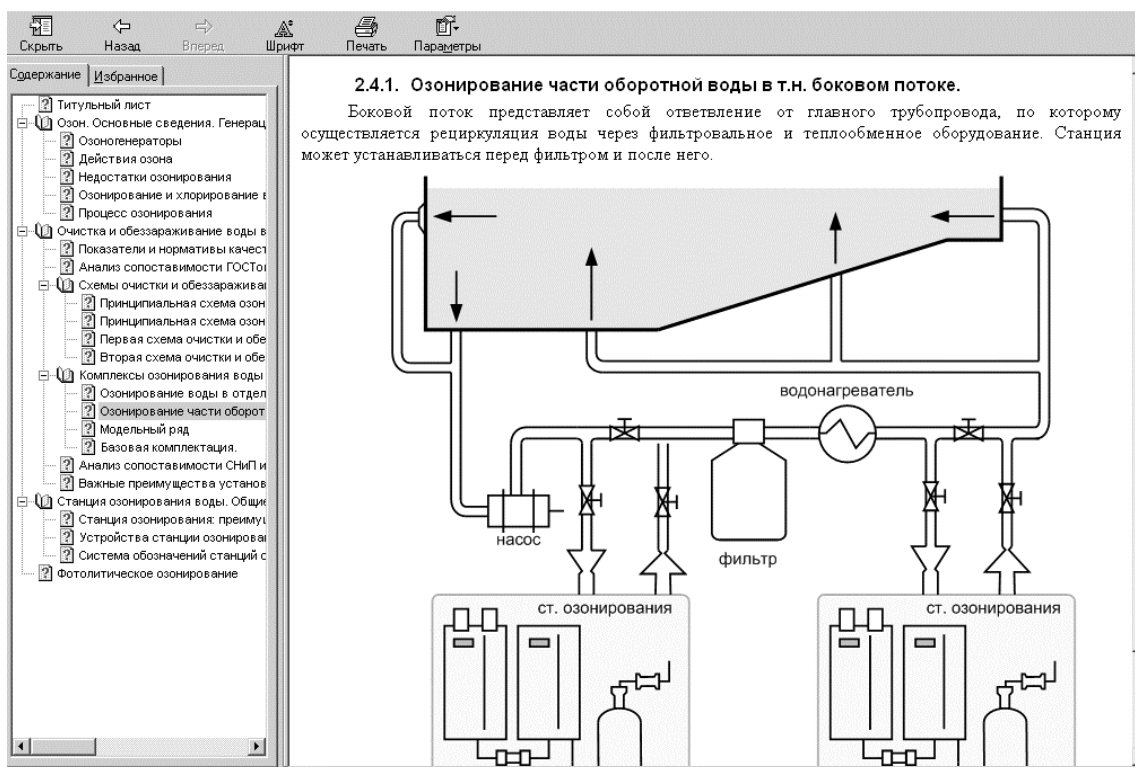


Рис. 6.22. Пример использования созданной информационно-справочной системы

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСОВЫХ РАБОТ И ПРОЕКТОВ

### 7.1. Учебный объект моделирования и оптимизации

#### 7.1.1. Обоснование выбора базового объекта

Для информационного обеспечения КР было бы идеально во дворе университета иметь группу функционирующих производственных предприятий по профилю всех специальностей, на которых студенты имели бы возможность планировать и осуществлять активные эксперименты для математического описания технологических процессов. Ясно, что идеальное необходимо заменить реальным. Поэтому физически существующее предприятие должно быть представлено его виртуальной имитационной моделью. Также идеально было бы иметь имитационные модели предприятий по профилю всех специальностей. Однако и это к настоящему времени нереально. Нужно выбрать и обосновать учебный пример базового объекта моделирования и оптимизации в КР.

Применение информационных компьютерных технологий в промышленной экологии и химико-технологических системах всегда базируется на сведениях, которые поступают от функционирующего

предприятия того или иного профиля. Принципы и методы математической и компьютерной обработки производственной информации, как правило, являются практически одними и теми же как для цементного или стекольного завода, так и для производственного комплекса утилизации волокнистых отходов.

Для всех предприятий химических отраслей общими проблемами являются выработка требуемого количества продукции заданного качества при минимальной себестоимости.

Показатели качества для разных видов вырабатываемой продукции будут по-разному называться, их значения будут лежать в различных диапазонах шкалы, но математический аппарат статистического анализа для всех разновидностей продукции одинаков.

То же самое можно сказать о корреляционном анализе химико-технологических систем, комплексной оценке качества продукции по нескольким признакам, оптимизации рецептур, принятии решений в условиях неопределенности и риска и т. д. Технологии разные, а компьютерные программы обработки информации одинаковые.

Математические модели для различных химических производств могут быть получены по одним и тем же алгоритмам. Оптимизационные задачи в химической технологии также имеют одинаковую структуру, типичную формулировку и один и тот же набор методов решения.

Любой производственный объект характеризуется наличием системы управления, главными элементами которой являются технологические факторы (управляющие воздействия). Изменения значений управляющих воздействий оказывают закономерное влияние на показатели качества продукции, на производительность, экономику и экологию. При этом следует иметь в виду, что значения любого фактора можно изменять в любое время, в любом направлении и на любую величину независимо от остальных факторов. Поэтому они и называются независимыми переменными. Значения показателей качества зависят от значений управляющих воздействий, поэтому они и называются зависимыми переменными.

Для разработки системы оптимального оперативного технологического управления обычно не требуется знание механизма процесса. Поэтому в стохастическом моделировании не ставится задача ответить на вопрос «почему?». Достаточно иметь ответ на вопрос «сколько?». Проблема в такой постановке решается с помощью метода максимального правдоподобия, частным случаем

которого является метод наименьших квадратов. Он также обладает свойством универсальности. По одному и тому же алгоритму можно получить полиномиальные модели как в промышленной экологии, так и в производстве строительных материалов.

Таким образом, освоение методов моделирования и оптимизации химико-технологических систем допустимо на примере одного какого-либо предприятия.

В данном пособии объект анализа и математического описания базируется на системной математической модели производственного комплекса утилизации волокнистых отходов, которая позволяет имитировать в динамике все основные технологические, административные, экономические и экологические ситуации, характерные для предприятий химического профиля.

Технология, положенная в основу базового программного модуля, обладает всеми признаками самого сложного типа моделируемых систем. Во-первых, она состоит не из однотипных процессов, и поэтому не обладает свойством аддитивности (в отличие, допустим, от набора одинаковых ткацких станков). Во-вторых, в системе присутствуют рециклы и байпасы, делающие работу каждого элемента зависимой от функционирования всех остальных. Следовательно, по структуре она должна быть отнесена к классу когерентных систем, обязывающему при изучении рассматривать все явления в их диалектической противоречивости, взаимосвязанности, цельности и единстве. В-третьих, работа системы имеет ярко выраженный динамический характер, в ее материальных потоках способны в процессе эксплуатации накапливаться такие компоненты и загрязнения, которые влияют на протекание принципиально важных процессов основной технологической линии. Накопление этих веществ в потоках приводит к необходимости закладывать в разрабатываемую модель принципы самообучения или самонастройки.

#### **7.1.2. Описание проблемы**

В качестве основного вида продукции, изготовленной из утилизируемой макулатуры, предложено выбрать обойную бумагу. Такой выбор хорош тем, что выводит макулатуру из многократного ее повторного использования. Наклеенные на стены обои долго не превратятся во вторсырье. К прочности обойной бумаги не предъявляется очень высоких требований, поскольку за весь период эксплуатации обоев она не работает ни на сжатие, ни на растяжение. Но есть и специфические требования к качеству обойной бумаги. Во-первых, она должна воспринимать рельефное тиснение без

деформации, т. е. обладать высокой растяжимостью. Во-вторых, будучи пропитанной водным клеем, она не должна разрываться от собственного веса при выклейке обоев, т. е. быть достаточно влагопрочной. В-третьих, нанесенный на нее рельефный рисунок не должен изменять глубину тиснения при влажном разглаживании на гладкой плоской поверхности стены. Ясно, что от диапазона заказанных свойств продукции будет зависеть эколого-экономическая характеристика работы комплекса.

Представляете, какая благодать вырабатывать продукцию только из товарной макулатуры! Обезвоживание на сетке великолепное, сколько ее ни разбавляй при формовании, на обезвоживающей способности это почти не скажется. Скорость машины можно увеличить насколько позволит привод. Мечта для технолога!

Но такая бумага никому не нужна. Она очень слабая. Тут же расползается при намокании, пылит при прикосновении. Ее нужно упрочнять. Проще это сделать длиноволокнистой армирующей добавкой. Удовольствия в технологическом управлении это почти не убавит. Но дело в том, что если волокнистую добавку не подвергнуть размолу, то на поверхность волокон не выйдут активные гидроксильные, карбоксильные и карбонильные группы, способные осуществлять весь комплекс межмолекулярных ван-дер-ваальсовых взаимодействий и образовывать мощную водородную связь. Бумага получается прочнее, но повышение степени помола приводит к резкому ухудшению обезвоживания на сетке, приходится уменьшать скорость и повышать концентрацию. Но и это еще не трагедия. Размол целлюлозной добавки делает бумагу жесткой, как жесь, ломкой при изгибе.

К жесткому целлюлозному упрочнению необходимо добавить пластифицирующий агент, который не только умягчал бы бумагу, но и делал ее влагопрочной. Это, конечно, могут делать эластомеры. Но мороки с ними предостаточно. Прежде всего, это гидродисперсии, микрогетерогенные системы. Нужно еще исхитриться извлечь из них дисперсную фазу. Необходимо обеспечить гетероадагуляцию при осаждении. Чтобы мелкие частицы каучука налипали на крупные волокна, нужно предотвратить образование грубого осадка в межволоконной жидкости. Волокна с осадком полимера на их поверхности уменьшают степень помола суспензии, облегчают обезвоживание.

Но сам процесс электролитной коагуляции гидродисперсий полимера в водно-волоконистой системе в зависимости от расхода

осуществляется по весьма сложной кривой с несколькими экстремумами.

Эта сложность тут же подхватывается всеми остальными факторами. И ни один из них не дает простые гладкие выпуклые зависимости.

### **7.1.3. Характеристика производственного комплекса**

Не акцентируя внимание на особенностях предлагаемой технологии утилизации волокнистых отходов, необходимо дать несколько вводных сведений, которые потребуются при использовании программного средства.

Волокнистые отходы (макулатура, льняная костра, кожевенные и меховые отходы, стекловолокно, искусственные и синтетические волокна и др.) рационально утилизировать в виде листового материала, например, бумаги для обоев.

Все перечисленные ранее волокна не обладают способностью к самосвязыванию. Чтобы обеспечить удовлетворительный комплекс свойств изделиям, необходимо выполнить главное условие упрочнения формируемого листа.

В качестве полимерной упрочняющей добавки предлагается использовать синтетические каучуковые латексы, которые будут повышать пластичность и влагопрочность бумаги.

В качестве волокнистой добавки можно использовать высококачественную длиноволокнистую целлюлозу, которая будет создавать упрочняющий структурный каркас. Однако упрочняющими свойствами целлюлоза будет обладать только после соответствующего размола, который откроет активные поверхностные гидроксильные группы, способные образовывать межволоконные водородные связи.

Процесс превращения сырья в готовую продукцию включает в себя несколько стадий:

- измельчение исходного сырья;
- получение вводно-волокнистых суспензий;
- размол волокнистых суспензий;
- составление композиций с полимерными и волокнистыми упрочняющими добавками;
- разбавление оборотной водой до малых концентраций для того, чтобы разбавленная суспензия равномерно растеклась на поверхности движущейся бесконечной металлической сетки;
- обезвоживание и сушка сформованного волокнистого ковра;
- организация системы водопользования.

Изучение технологии волокнистых отходов не входит в задачи настоящего пособия. Для моделирования мы будем использовать принцип «черного ящика», применяющийся для математического описания любой отраслевой технологии (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Конкретизация «черного ящика» для моделирования производственного комплекса утилизации волокнистых отходов

Принцип «черного ящика» заключается в том, что заранее соглашаются не раскрывать физический смысл причинно-следственных связей между условиями и результатами протекающих процессов. Представляет интерес только количественная зависимость выхода от входа, в какую сторону и на сколько изменятся свойства вырабатываемой продукции, если по определенному плану изменять условия производства. При этом также стараются зафиксировать текущие значения случайных возмущающих воздействий, которые нельзя менять по своему усмотрению.

Однако при формулировании задачи построения информационной сети для получения полиномиальных математических моделей и последующего нахождения оптимального технологического режима информация о влиянии основных факторов будет необходима.

#### 7.1.4. Основные представления о факторах технологического процесса

**Расход полимерной упрочняющей добавки, кг/т.** Стартовое значение 75,0; допустимые границы изменения показателя 25,0–250,0. Необходимо иметь в виду, что при увеличении расхода полимерной

упрочняющей добавки показатели качества продукции проходят через максимум, повышаясь вначале и понижаясь в конце. Наибольшее влияние полимерные добавки оказывают на влагопрочность и пластичность. Для каждого сочетания условий существует уникальная величина оптимального расхода полимерной упрочняющей добавки.

**Расход волокнистой упрочняющей добавки, кг/т.** Стартовое значение 100,0; допустимые границы изменения показателя 50,0–350,0. Для повышения прочности продукции, изготовленной из макулатуры, кроме полимеров, типа каучуковых латексов, часто применяются волокнистые добавки из сульфатной целлюлозы, которые в структуре полотна создают упрочняющий каркас. Необходимо помнить, что сама по себе волокнистая добавка не является упрочняющей. Упрочняющие свойства волокнистой добавки проявляются только в случае оптимального значения степени помола для конкретных условий.

**Степень помола целлюлозы, °Ш-Р.** Стартовое значение 25,0; допустимые границы изменения показателя 15,0–50,0. Волокна целлюлозы при размоле можно измельчить вдоль и поперек. Измельчение вдоль волокон называется гидратацией и измеряется степенью помола, выражаемой в градусах Шоппер-Ригглера (Ш-Р). Неразмолотая целлюлоза чаще всего имеет 14–16 °Ш-Р, высоко размолотая – 65–95 °Ш-Р. Массовые сорта бумаги вырабатываются из целлюлозы со степенью помола 25–45 °Ш-Р. Чем выше степень помола длинных волокон, тем прочнее межволоконные связи в бумаге, но тем неравномернее по структуре бумажный лист. Из коротких волокон можно получить равномерный по структуре бумажный лист (с «молочным» просветом), но он не будет прочным. При увеличении степени помола показатели качества бумаги проходят через максимум, повышаясь вначале и понижаясь в конце.

**Концентрация массы при отливе, %.** Стартовое значение 0,7; допустимые границы изменения показателя 0,3–1,5. На сетке бумагоделательной машины осуществляется разбавление волокнистой массы, а затем удаление избытка жидкости в сборник регистровых вод. Чем ниже концентрация массы при отливе, тем равномернее по структуре, а, следовательно, высококачественнее и прочнее получается бумажный лист. Но при этом следует иметь в виду, что после формования листа межволоконная жидкость подлежит удалению из бумаги. А это влечет за собой увеличение расходов на создание и поддержание необходимого вакуума, на возрастание мощности привода сеточной части машины за счет увеличения длины сетки, на оплату более высокой металлоемкости всей конструкции.

**Скорость бумагоделательной машины, м/мин.** Стартовое значение 150; допустимые границы изменения показателя 100–200. При понижении скорости качество продукции повышается (чем меньше, тем лучше, но дороже), а график зависимости себестоимости от скорости имеет унимодальный экстремальный вид. При малой скорости себестоимость высока из-за низкого коэффициента использования мощности, а после оптимальной скорости, при которой себестоимость минимальна, опять отмечается возрастание себестоимости за счет повышения удельных затрат энергии.

#### **7.1.5. Основные представления о показателях качества продукции**

**Сопротивление разрыву вырабатываемой бумаги, выражаемое разрывной длиной, км.** Допустимые границы изменения показателя – в пределах 1,5–19. Прочность бумаги в отраслевом стандарте измеряется в единицах разрывной длины (в метрах). Разрывная длина – это такая длина полоски бумаги шириной 15 мм, которая, будучи свободно подвешенной за один конец, разорвется от собственного веса. Разумеется, что при измерении прочности бумаги на современных динамометрах не оперируют многокилометровыми полосками, а подвергают испытанию образцы длиной 18 см на разрывной машине с последующим вычислением значений разрывной длины по соответствующим формулам.

**Пластичность продукции, тыс. двойных перегибов.** Допустимые границы изменения показателя – в пределах 5–50. Показатель пластичности характеризуется способностью бумаги противостоять многократному изгибу на  $180^\circ$  до момента разрыва при натяжении ее с усилием 10 Н.

**Влагопрочность вырабатываемой бумаги, %.** Допустимые границы изменения показателя – в пределах 7–65. Влагопрочность бумаги характеризуется отношением прочности бумаги после двухчасового намокания в воде к прочности бумаги в сухом состоянии и выражается в процентах. Диапазон значений показателя в пределах 25–65% указывает на то, что такая бумага обладает весьма высокой влагопрочностью.

### **7.2. Системная математическая модель производственного комплекса**

В основу системной математической модели производственного комплекса положен мультипликативный принцип расчета



многокомпонентных материальных балансов технологической системы через любые наперед заданные промежутки времени, например, через отрезок времени, равный времени выработки одной тонны продукции. Связь состава потоков с режимными параметрами осуществляет комплекс полиномиальных моделей, описывающих зависимости степени удержания каждого компонента в структуре полотна от степени помола, композиции, содержания сульфата алюминия в массе до введения в нее проклеивающих веществ и т. п.

Зависимость свойств готовой продукции от состава материальных потоков описывает второй комплекс полиномиальных моделей. Таким образом, в одной системной математической модели объединяются расходные и режимные управляющие параметры с качеством готовой продукции. Имеется возможность получить количественную информацию о содержании любого компонента в любом материальном потоке через любой промежуток времени с момента запуска бумагоделательной машины; при этом синхронно выводится информация о качестве вырабатываемой продукции в этот же момент времени.

Поскольку сам факт накопления вредных загрязнений (например, сульфата алюминия в оборотной воде) во времени оказывает влияние на протекание технологического процесса коагуляции упрочняющей добавки в волокнистой массе, то, очевидно, возникает необходимость в постоянной оптимальной подстройке системы управления. Поэтому в алгоритм введен оптимизирующий блок, в котором поступающая информация обрабатывается и в случае рассогласования фактической ситуации с заданными условиями, решается компромиссная задача оптимизации с выдачей необходимых управляющих импульсов на «исполнительные механизмы» комплекса с учетом выбранного критерия, например, минимальной суммы энерготехнологических затрат.

Центральной частью математического обеспечения компьютерного программного модуля является многократный расчет материальных балансов по специально организованной циклической программе. В отличие от традиционного приема расчета технологических потоков с известного значения товарной продукции, методика использует естественную последовательность расчета материальных балансов сначала, следуя от операции к операции, превращающей сырье в готовую продукцию. В математической модели задействованы 49 факторов, которые оказывают влияние на протекание технологического процесса, качество продукции,

экономику и экологию.

### **7.3. Программный модуль «Complex»**

Организационные, методические, математические и программные основы модуля подробно описаны в наших ранее изданных учебных пособиях [1–3].

#### **7.3.1. Назначение программного модуля**

Модуль предназначен для имитирования оперативного технологического управления производственным комплексом с выводом на экран монитора текущих значений качества продукции, экономических показателей и уровня загрязнения окружающей среды. Может быть полезен для студентов старших курсов ВТУЗов, изучающих промышленную экологию, химическую технологию, конкретную экономику, менеджмент и маркетинг, техническую кибернетику, организацию и управление производством.

#### **7.3.2. Возможности программного модуля**

С помощью программного модуля можно формулировать и решать следующие организационные, технические, административные, экономические и экологические проблемы:

- математический аппарат, программная реализация модели и интерактивная оболочка позволяют имитировать в динамике функционирование промышленного объекта и производить вычислительные эксперименты;

- программный продукт способен выступать в качестве имитационной модели комплекса, автономно и объективно, в режиме реального времени, реагировать на текущие управляющие воздействия, сделанные пользователем, а также на естественное «покачивание» параметров, происходящее за счет случайных изменений погодных условий, солевого состава речной воды, ветрового режима и накопления загрязнений в рециркулирующих потоках;

- программа позволяет генерировать, формализовать и моделировать технические, экономические и экологические аспекты проблем, возникающих в процессе функционирования промышленного комплекса, осуществлять выбор вариантов их решения, учитывать возможные последствия реализации, выводить несостоятельные альтернативы, проверять допустимость и целесообразность принятых решений путем организации вычислительных экспериментов;

– программа позволяет изменять условия работы в виде директивных предписаний, ценовой и правовой политики и осуществлять технологическое управление в шести режимах: от ручного управления с пульта до оперативного оптимального – с помощью «встроенной» управляющей ЭВМ.

### **7.3.3. Вывод результатов и текущей информации**

Возможности программного модуля позволяют автоматически выводить на экран монитора в режиме реального времени текущие значения следующих показателей:

- качества продукции;
- параметров технологического режима, связанных со случайными возмущающими воздействиями, оказывающими влияние на систему в текущий момент;
- экономических показателей, связанных с изменениями обстановки в рассматриваемый момент времени;
- содержания всех компонентов в каждом материальном потоке;
- приземных концентраций загрязняющих веществ и ПДВ от каждого источника загрязнения и расстояния, на которых они достигаются;
- текущие оценки качества проточного водоема, принимающего сточные воды по лимитирующим признакам.

## **7.4. Практические рекомендации по использованию программного модуля**

### **7.4.1. Анализ и оптимизация работы производственного комплекса**

При запуске программного модуля пользователю придется определиться с обликом производственного комплекса. Его необходимо адаптировать к текущим (или специально формируемым) экономическим, техническим, конъюнктурным рыночным, административным, погодным и другим условиям функционирования. Для этого нужно будет решить проблему планирования качества выпускаемой продукции и в текстовые поля диалогового окна *Выбор начальных условий* вписать или отредактировать значения следующих параметров:

- мощность водотока (дебет реки);
- цена полимерной добавки;
- цена волокнистой добавки;
- цена 1 кВт · ч электроэнергии;

- цена 1 м<sup>3</sup> речной воды;
- цена 1 тонны волокнистых отходов;
- цена выброса в атмосферу 1 кг стирола;
- цена сброса 1 кг вещества со сточной водой;
- цена 1 тонны готовой продукции;
- цена коагулянта;
- удельный расход энергии на размол волокон;
- удельный расход энергии на деминерализацию оборотной воды;
- удельный расход энергии на очистку газо-воздушных выбросов;
- удельный расход энергии на очистку сточных вод.

Совершенно очевидно, что влияние этих параметров следует рассматривать и анализировать в совокупности, поскольку все они взаимосвязаны по смыслу. Поэтому на экран монитора следует выводить одновременно несколько диалоговых окон (рис. 7.2 и 7.3).

| Выбор начальных условий  |  |        |
|--|--|--------|
| Мощность водотока (дебет реки), м3/с   |  | 12,5   |
| Цена полимерной добавки, у.е./кг   |  | 2,6    |
| Цена волокнистой добавки, у.е./кг  |  | 1,7    |
| Цена 1 квтч электроэнергии, у.е./квтч  |  | 0,067  |
| Цена 1 куб.м речной воды, у.е./м3  |  | 0,65   |
| Цена 1 тонны волокнистых отходов, у.е./т   |  | 50,0   |
| Цена выброса в атмосферу 1 кг стирола, у.е./кг   |  | 0,55   |
| Цена сброса 1 кг вещества со сточной водой, у.е./кг  |  | 0,29   |
| Цена 1 тонны готовой продукции, у.е./т   |  | 3500,0 |
| Цена коагулянта, у.е./кг   |  | 0,13   |
| Удельный расход энергии на размол волокон, квтч/(т*гр)   |  | 950,0  |
| Удельный расход энергии на деминерализацию, квтч/м3  |  | 715,0  |
| Удельный расход энергии на очистку г-в выбросов, квтч/кг   |  | 28,0   |
| Удельный расход энергии на очистку сточных вод, квтч/м3  |  | 14,5   |
| <input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value="Справка"/> |  |        |

| Требования к качеству продукции  |    |              |
|--|----|--------------|
| Прочность вырабатываемой продукции, км   | от | 3,5 до 3,9   |
| Пластичность вырабатываемой продукции, тыс. двойных перегибов  | от | 12,0 до 13,0 |
| Влагопрочность вырабатываемой продукции, %   | от | 12,0 до 15,0 |
| <input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value="Справка"/> |    |              |

Рис. 7.2. Выбор начальных условий

| Текущий технологический режим                                |         |         |
|--|---------|---------|
| Значения параметров  | Текущее | Лучшее  |
| Расход полимерной упрочняющей добавки, кг/т                  | 76,371  | 75,984  |
| Расход волокнистой упрочняющей добавки, кг/т                 | 74,497  | 77,462  |
| Степень помола волокнистой суспензии, град.Ш-Р               | 24,93   | 25,054  |
| Концентрация электролитов до введения упрочняющих добавок, % | 0,019   | 0,01    |
| Концентрация массы при отливе, %                             | 0,7     | 0,7     |
| Скорость бумагоделательной машины, м/мин                     | 150,0   | 150,0   |
| Расход свежей речной воды, кг/т                              | 15000,0 | 15000,0 |
| Общий расход воды на промывку маш., кг/т                     | 120000, | 120000, |
| Сумма энерго-технологических затрат, у.е.                    | 722,925 | 716,459 |

| Экономические показатели                                   |         |
|--|---------|
| Стоимость полимерной добавки, у.е.                         | 198,566 |
| Стоимость волокнистой добавки, у.е.                        | 126,645 |
| Стоимость энергии на размол, у.е.                          | 56,567  |
| Стоимость речной воды, у.е.                                | 9,75    |
| Стоимость деминерализованной воды, у.е.                    | 239,525 |
| Стоимость волокнистых отходов, у.е.                        | 66,635  |
| Стоимость очистки газо-воздушных выбросов, у.е.            | 3,551   |
| Стоимость очистки стоков, у.е.                             | 2,162   |
| Стоимость газо-воздушных выбросов, у.е.                    | 0,468   |
| Стоимость сброса сточных вод, у.е.                         | 14,57   |
| Стоимость коагулянта, у.е.                                 | 4,486   |
| Текущее значение суммы энерго-технологических затрат, у.е. | 722,925 |
| Лучшее значение суммы энерго-технологических затрат, у.е.  | 716,459 |

Рис. 7.3. Реакция системы

Ясно, что значения предельно допустимого сброса сточных вод будут разными в зависимости от полноводности реки. Игнорирование этого фактора повлечет за собой увеличение себестоимости продукции либо за счет увеличения размера оплаты ущерба, нанесенного окружающей среде, либо за счет повышения потребности энергии для очистки сточных вод.

Цена энергии повлияет на всю организацию работы производственного комплекса. Энергосбережение окажется возможным только при условии замены устаревшего оборудования на современное (с пониженными удельными расходами энергии на технологические операции).

Совершенно уникальную информацию можно получать и анализировать, если выбрать режим работы комплекса *Оперативное оптимальное управление* (рис. 7.4).

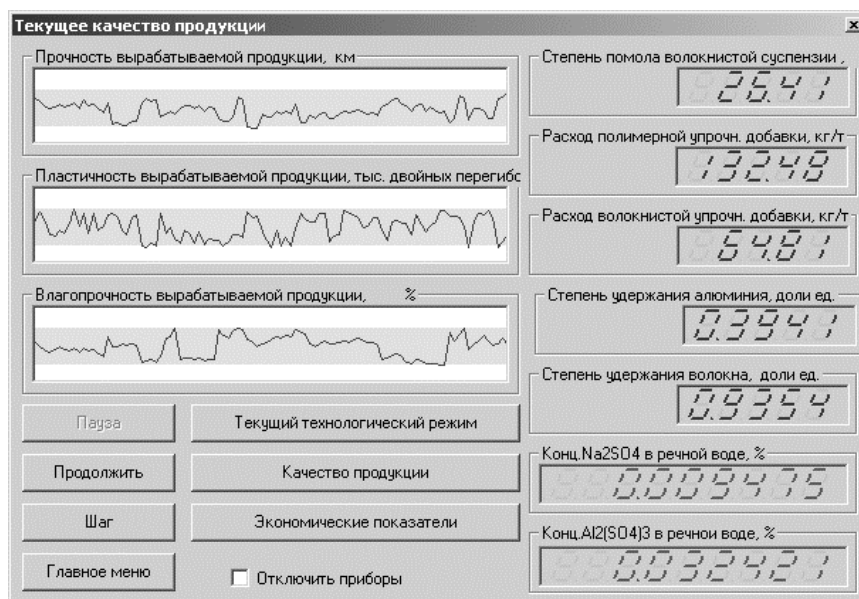


Рис. 7.4. Оптимальная оперативная коррекция технологического режима

В этом случае при различных комбинациях значений диалогового окна *Выбор начальных условий* автоматически оптимальным образом определится реакция системы на изменившуюся ситуацию. Причем отклик произойдет одновременно по всем параметрам, которые так или иначе связаны с изменившимися условиями. Это подобно тому, как будет реализовываться процесс при традиционном административном управлении: сначала будет уточнена новая цель, затем будут генерироваться варианты ее достижения и учет возможных последствий, вывод несостоятельных альтернатив, принятие решения и его реализация.

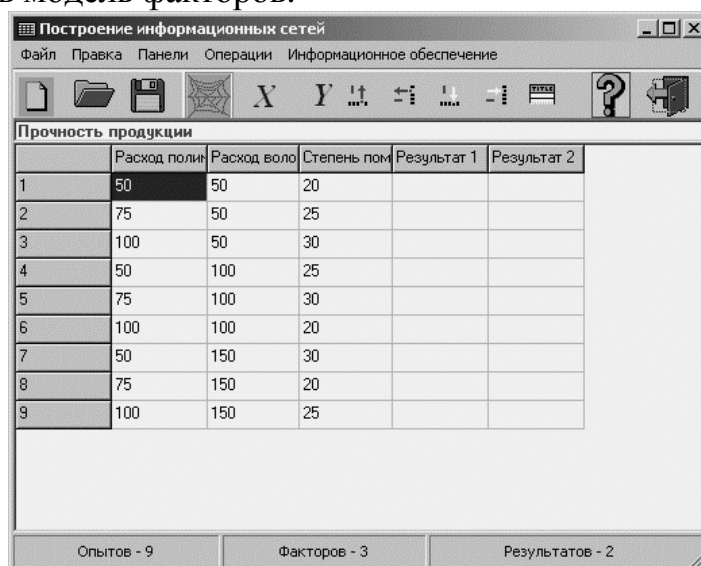
Имитационная модель производственного комплекса в данном случае среагирует как живой профессиональный коллектив. На нашу долю остается выявление всех причинно-следственных связей и их интерпретация.

#### 7.4.2. Организация сбора информации

Для компьютерного моделирования технологических процессов характерна ситуация, когда нужно получить информацию в соответствии со специально разработанным планом эксперимента.

На рис. 7.5 показано диалоговое окно, которое позволяет разрабатывать и сохранять условия факторных вычислительных экспериментов, преобразовывать информационную сеть в таблично заданную функцию, а мнемосхема (рис. 7.6) обеспечивает их построчную реализацию путем присвоения соответствующих значений

включенных в модель факторов.



|   | Расход полин | Расход воло | Степень пом | Результат 1 | Результат 2 |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 50           | 50          | 20          |             |             |
| 2 | 75           | 50          | 25          |             |             |
| 3 | 100          | 50          | 30          |             |             |
| 4 | 50           | 100         | 25          |             |             |
| 5 | 75           | 100         | 30          |             |             |
| 6 | 100          | 100         | 20          |             |             |
| 7 | 50           | 150         | 30          |             |             |
| 8 | 75           | 150         | 20          |             |             |
| 9 | 100          | 150         | 25          |             |             |

Рис. 7.5. Информационная сеть  
(план вычислительного эксперимента)

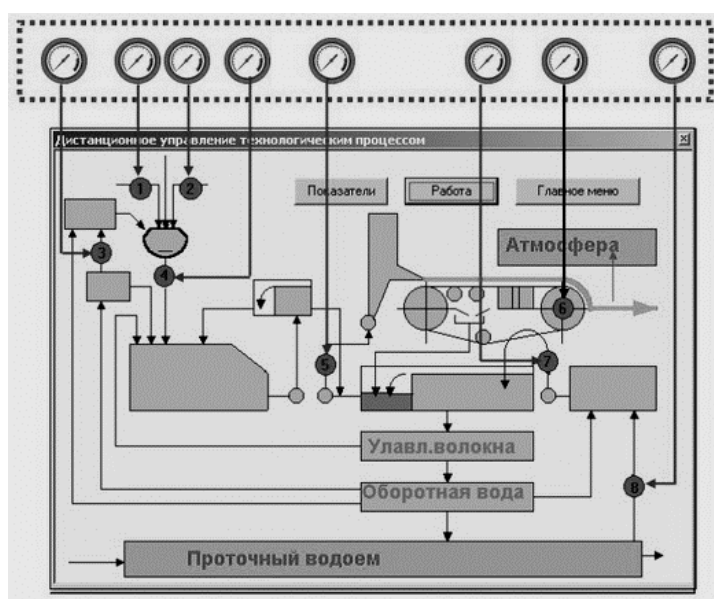


Рис. 7.6. Построчная реализация  
плана эксперимента рис. 7.5

Таким образом, обеспечивается организация сбора информации для получения бесконечного многообразия разновидностей полиномиальных моделей (предельная размерность – 8 факторов) производственного комплекса.

Но сложность и размерность моделей можно значительно увеличить, если в планы экспериментов включать параметры

диалогового окна *Выбор начальных условий* (рис. 7.2).

## 8. КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

### 8.1. Статистическая обработка результатов измерений

#### 8.1.1. Понятие результата статистической обработки данных

Из своего жизненного опыта мы знаем, что качество интересующей нас продукции можно оценить некоторым диапазоном значений главного для нас параметра. Мы интуитивно в мозгу как бы уже выстроили некоторую симметричную выпуклую кривую. При этом само собой разумеется, что в центре диапазона должно находиться наиболее вероятное значение показателя качества. Это можно формально представить так:

$$\text{левый предел} \leq x \leq \text{правый предел}. \quad (8.1)$$

Поэтому естественно, что главным результатом статистической обработки является вычисление математического ожидания случайной величины и границ доверительного интервала при заданном значении уровня значимости (меры надежности  $\alpha = 1 - p$ ):

$$Mx - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha, n-1} \leq x \leq Mx + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{\alpha, n-1}, \quad (8.2)$$

где  $Mx$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;  $n$  – количество измерений;  $t_{\alpha, n-1}$  – значение критерия Стьюдента (суммарная доля стандартных квадратических отклонений), при котором обеспечивается заданная мера надежности  $\alpha$  для имеющегося объема выборки.

Формально получить результат предельно просто, поскольку схема расчетов хорошо разработана, а расчетные формулы общеизвестны.

Допустим, что мы имеем выборку, составленную из результатов измерений оцениваемого показателя качества (гранулометрический состав осадка сточных вод):

$$Y^T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 11.2 & 12.4 & 14.5 & 15.6 & 16.1 & 18.2 & 17.8 & 15.3 & 16.2 & 15.4 \\ \hline \end{array}$$

В качестве приближения к  $Mx$  здесь используется *выборочное среднее*, вычисляемое по формуле



$$Mx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.3)$$

среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - Mx)^2}. \quad (8.4)$$

А далее вообще все просто. Левая граница:

$$\Delta_{left} = Mx - \frac{1,96\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (8.5)$$

правая граница:

$$\Delta_{right} = Mx + \frac{1,96\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (8.6)$$

Таким образом, результат уже вроде и получен:

$$\Delta_{left} \leq x \leq \Delta_{right}. \quad (8.7)$$

Арифметических ошибок нет, формулы правильные, но обнародовать этот результат как готовый, а тем более с гарантиями, было бы, мягко говоря, опрометчиво.

Дело в том, что мы только предполагали, что имеем дело с нормальным законом распределения (8.8), но не знали это совершенно точно (здесь  $Mx$  – математическое ожидание):

$$f_{x, Mx, \sigma}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-Mx)^2}{2\sigma^2}}. \quad (8.8)$$

Ведь у нас был только набор чисел в виде последовательности результатов измерений. Мы бы хотели, чтобы частоты значений, попадающие в каждый поддиапазон (бин) вариационного ряда, на который мы разбили всю выборку по возрастающим значениям, распределились бы примерно так, как показано на рис. 8.1.

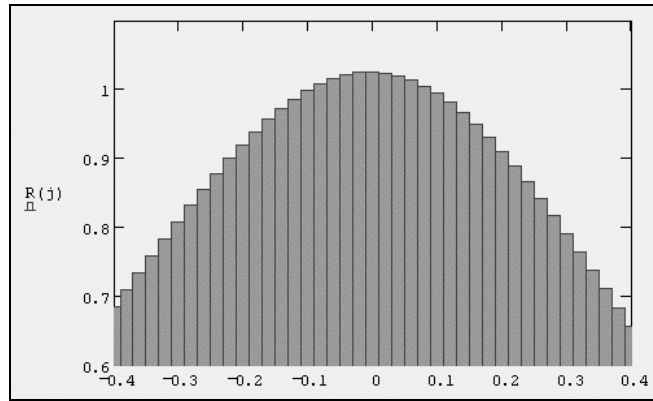


Рис. 8.1. Гистограмма нормального распределения

Но пока это не более, чем пожелание. Ведь может оказаться и так, как показано на рис. 8.2. Наш результат (8.7) окажется полной бессмыслицей. По первому варианту математическое ожидание по величине может оказаться везде, по второму варианту окажется сдвинутым сильно влево, а по третьему варианту совсем не там.

Может получиться и так, что количества измерений не хватит для вынесения суждения о нормальности закона распределения.

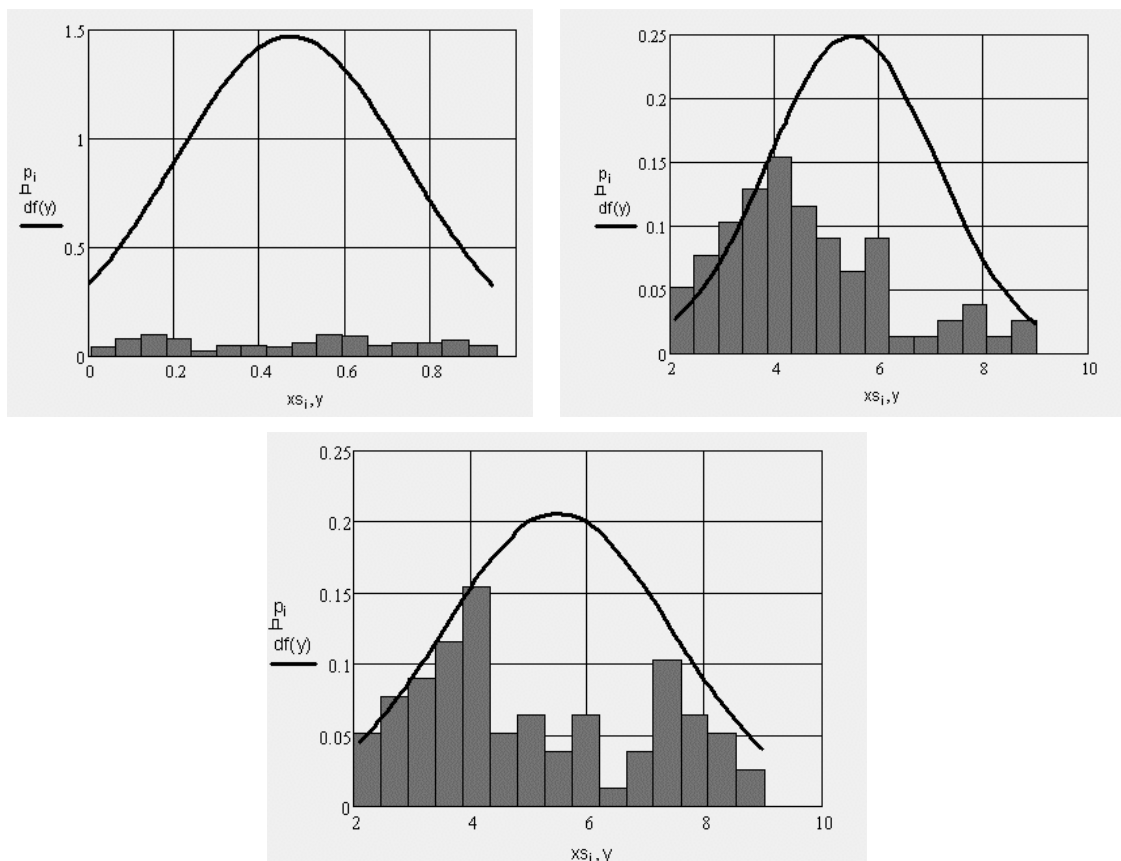


Рис. 8.2. Различные варианты гистограмм

для выборок, отклоняющихся от нормального закона распределения

Чтобы количественно подтвердить право приступить к статистическому оцениванию результатов и использовать формулы (8.3) и (8.4), необходимо с уверенностью знать, имеем ли мы дело с объектом, который подчиняется нормальному закону распределения конкретной выборочной совокупности. Ведь кроме вариационного ряда мы к началу работы ничем не располагаем.

Вопрос о том, как установить, что выборка достаточно хорошо воспроизводит генеральную совокупность, является одним из важных вопросов статистического оценивания.

### **8.1.2. Проверка статистических гипотез. Критерии согласия**

Критерии согласия позволяют оценить, насколько теоретический закон распределения согласуется с наблюдаемой на опыте выборкой. Проверка согласия принятого закона распределения возможна только вероятностными методами. Поэтому результатом проверки не может быть точное подтверждение или отрицание гипотезы, а только установление вероятности того, что данная гипотеза не противоречит опытным данным. Выбор уровня значимости  $\alpha$  определяется степенью ответственности выводов, которые делаются на основе применения критерия согласия.

Под критерием согласия понимают некоторую величину  $\Delta(F_n, F)$ , которая отражает количественную меру расхождения гипотетического  $F(x)$  и эмпирического  $F_n(x)$  распределений. Эту величину можно выбрать многими способами, в соответствии с которыми получаются и различные критерии проверки интересующей нас гипотезы.

Все критерии согласия, независимо от их конкретного воплощения, составляют по одинаковой схеме. Прежде всего, выбирается некоторый параметр  $\chi$ , который может служить мерой случайного разброса элементов выборки при предполагаемом (теоретическом) законе распределения. Параметр  $\chi$  должен удовлетворять некоторым общим требованиям. Так, например, необходимо, чтобы закон распределения для этого параметра мог легко определяться и не зависеть от вида проверяемого закона распределения. Кроме того, необходимо, чтобы этот параметр обладал должной «чувствительностью», т. е. чтобы отличие проверяемого закона распределения от действительного достаточно существенно сказывалось на его значении.

После того как параметр  $\chi$  выбран, задаются некоторой вероятностью  $\alpha$  («уровнем значимости»), достаточно малой для того,

чтобы в данной задаче событие, имеющее меньшую вероятность, считать практически невозможным. Пользуясь законом распределения  $X$ , определяют такое значение  $\chi_\alpha$  этой случайной величины, для которого выполняется неравенство

$$P\{ \chi > \chi_\alpha \} \geq \alpha. \quad (8.9)$$

Далее находят значение  $\chi$  для данной выборки. Обозначим это значение  $\chi_q$ .

Если окажется, что  $\chi_q > \chi_\alpha$ , то это означает (в предположении, что имеет место теоретический закон распределения), что произошло событие, вероятность которого меньше  $\alpha$ , т. е. весьма маловероятное. В этом случае следует признать, что сделанное предположение о виде закона распределения случайной величины  $X$  плохо согласуется с результатами опыта и должно быть отвергнуто. Если окажется, что  $\chi_q < \chi_\alpha$ , то сделанное предположение о виде закона распределения случайной величины  $X$  не противоречит опытным данным.

Как и при всех вероятностных расчетах, критерий согласия не может дать абсолютной уверенности в правильности или ложности сделанного предположения о виде закона распределения, однако при систематическом его применении можно, в конце концов, получить достаточную уверенность в правильности выводов о виде закона распределения. Выбор уровня значимости  $\alpha$  определяется степенью ответственности выводов, которые делаются на основе применения критерия согласия. Обычно для  $\alpha$  выбирается одно из следующих значений: 0,10; 0,05 и 0,01, для которых и составлено большинство таблиц, служащих для определения  $\chi_\alpha$ .

### **8.1.3. Проверка нормальности закона распределения с помощью центральных статистических моментов**

Проверка соответствия результатов измерений нормальному закону распределения производится путем вычисления особых параметров выборочной совокупности (центральных статистических моментов): асимметрии:

$$A = \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3, \quad (8.10)$$

эксцесса:

$$E = \frac{1}{n\sigma^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 - 3, \quad (8.11)$$

а также дисперсий этих величин:

$$D(A) = \frac{6(n-1)}{(n+1)(n-3)}, \quad (8.12)$$

$$D(E) = \frac{24(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}. \quad (8.13)$$

Критериями согласия в решении вопроса о соответствии выборочной совокупности нормальному закону распределения случайной величины выступают неравенства:

$$|A| \leq 3\sqrt{D(A)}; \quad (8.14)$$

$$|E| \leq 5\sqrt{D(E)}. \quad (8.15)$$

Если неравенства (8.14) и (8.15) выполняются, то наблюдаемое распределение измеряемой величины можно считать нормальным.

Отклонение частоты появления события от его вероятности уменьшается по мере увеличения числа испытаний. Иными словами, при увеличении числа испытаний частота появления случайного события приближается к его вероятности.

Классическое определение вероятности «работает» лишь тогда, когда имеется конечное число равновозможных исходов. На практике мы часто встречаемся с ситуациями, где нет симметрии, предопределяющей равновозможность исходов. В таких случаях классическим определением вероятности пользоваться нельзя.

#### **8.1.4. Проверка нормальности распределения с помощью критерия Пирсона**

Чтобы определить, удовлетворяет ли фактическое распределение наших результатов гипотезе, что эти результаты распределены по закону Гаусса, на основании рассчитанных значений  $Mx$  и  $\sigma$  мы должны рассчитать, как, согласно нашим ожиданиям, были бы распределены результаты, если бы гипотеза была верна, и сравнить это ожидаемое распределение с нашим фактически полученным распределением. Первая трудность заключается в том, что  $x$  есть непрерывная переменная, поэтому мы не можем говорить об ожидаемом числе измерений для какого-то одного значения  $x$ . Вместо этого мы должны говорить об ожидаемом числе в некотором интервале  $a < x < b$ , т. е. мы должны поделить весь интервал возможных значений на бины.

Чтобы определить, на сколько интервалов (бинов) следует разбивать вариационный ряд, можно воспользоваться формулой

$$k = 1 + 3,2 \cdot \lg n = 1 + 1,38976 \ln n. \quad (8.16)$$

Нужно иметь в виду, что значения  $k$  должны находиться в пределах 5–10. Следовательно, чтобы получить минимально допустимое число бинов, объем выборки должен быть не менее 20 измерений. Обычно выборка разбивается на 7 интервалов (бинов), при этом ее номинальный объем составляет 100 измерений.

Поделив весь интервал возможных измеренных значений на бины, мы можем сформулировать наш вопрос более точно. Во-первых, можем сосчитать число результатов измерений, которые попадают в каждый бин  $k$ . Обозначим это число через  $O_k$ . Далее, предполагая, что результаты наших измерений распределены нормально (с  $Mx$  и  $\sigma$ , как мы оценили), мы можем рассчитать ожидаемое число  $E_k$  результатов измерений для каждого бина  $k$ . Затем необходимо будет решить, насколько хорошо наблюдаемые числа  $O_k$  согласуются с ожидаемыми числами  $E_k$ .

Вероятность того, что результат любого одного измерения попадает в интервал  $a < x < b$ , равна площади под функцией Гаусса между  $x = a$  и  $x = b$ .

Теперь наша задача – решить, насколько хорошо ожидаемые числа  $E_k$  согласуются с соответствующими наблюдаемыми числами  $O_k$ . Мы, естественно, не ожидаем идеального согласия между  $E_k$  и  $O_k$  после любого конечного числа измерений. Но с другой стороны, если бы наша гипотеза о том, что результаты измерений распределены нормально, была правильной, то мы ожидали бы, что в некотором смысле отклонения

$(O_k - E_k)$  будут малы. И наоборот, если бы оказалось, что отклонения  $(O_k - E_k)$  велики, то мы стали бы подозревать, что наша гипотеза неверна.

Чтобы придать точный смысл утверждениям, что отклонения  $(O_k - E_k)$  «малы» или «велики», мы должны решить, насколько большими мы ожидали получить значения  $(O_k - E_k)$ , если бы результаты наших измерений действительно были распределены нормально. Если представить, что вся серия измерений повторяется много раз, то числа  $O_k$  результатов измерений в любом одном бине  $k$  можно рассматривать как результат счетного эксперимента. Множество различных результатов для  $O_k$  должно было бы иметь среднее значение  $E_k$  и флуктуировать относительно  $E_k$  со стандартным отклонением порядка  $\sqrt{E_k}$ . Таким образом, два числа, которые нужно сравнивать, – это отклонение  $(O_k - E_k)$  и ожидаемая величина его флуктуации  $\sqrt{E_k}$ .

Итак, мы должны рассмотреть отношение

$$\frac{O_k - E_k}{\sqrt{E_k}}. \quad (8.17)$$

Поскольку числитель для разных бинов может быть как положительным, так и отрицательным, то для проверки гипотезы это отношение нужно возвести в квадрат для каждого  $k$  и затем просуммировать по всем бином. Эта процедура определяет число, называемое  $\chi^2$  (хи-квадрат, или критерий Пирсона):

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^n \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k}. \quad (8.18)$$

Должно быть ясно, что это число служит показателем того, насколько хорошо согласуются эмпирическое и теоретическое распределения. Если  $\chi^2 = 0$ , то согласие идеальное, т. е.  $O_k = E_k$  для всех бинов, что в высшей степени невероятно. В общем случае отдельные члены в сумме должны быть порядка 1, а в сумме всего  $n$  членов. Значит, если  $\chi^2$  порядка  $n$  или меньше, то эмпирическое и теоретическое распределения согласуются настолько хорошо, насколько можно было бы ожидать. Другими словами, если  $\chi^2 \leq n$ , то у нас нет оснований сомневаться в том, что результаты наших измерений были распределены так, как предполагалось.

### 8.1.5. Проверка нормальности распределения с помощью критерия максимального правдоподобия

Если закон распределения случайной величины неизвестен, тогда невозможно вычислить числовые характеристики. В этом случае их заменяют оценками, полученными как функции выборки  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Всякую функцию  $t_n(x)$  от выборки называют статистикой. Подходящую статистику используют в качестве оценки числовой характеристики. Чаще всего оценками начальных и центральных моментов служат соответствующие выборочные начальные и центральные моменты:

$$a_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k, \quad m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^k. \quad (8.19)$$

Таким образом, оценкой математического ожидания служит выборочное среднее  $a_1 = 1/n \sum_{i=1}^n x_i$ , но в качестве оценки можно взять и другие параметры, например, величину  $0,5(x_{\max} + x_{\min})$ .

Чтобы иметь практическую ценность, оценка некоторого параметра  $P$  должна удовлетворять следующим требованиям:

- оценка  $t_n(x)$  должна приближаться к оцениваемому параметру  $P$  по мере увеличения объема выборки. Если оценка стремится по вероятности к оцениваемому параметру, то она называется состоятельной;

- оценка не должна содержать систематической ошибки. Это означает, что ее математическое ожидание должно совпадать с оцениваемым параметром  $P$ , т. е.  $M[t_n(x)] = P$ . Такая оценка называется несмещенной.

Из всех состоятельных и несмещенных оценок предпочтительнее та, которая имеет наименьшую дисперсию. Такая оценка называется эффективной.

Например, среднее выборочное  $Mx$  является состоятельной оценкой математического ожидания, а  $0,5(x_{\max} + x_{\min})$  – несостоятельной. Второй выборочный центральный момент

$$m_2 = S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a_1)^2 \quad (8.20)$$

является состоятельной оценкой дисперсии, но эта оценка смещенная.

Несмещенными являются оценки:

$$m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad m_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^2. \quad (8.21)$$

Если случайная величина распределена по нормальному закону, то оценка  $S_n^2$  является и эффективной.

Пусть закон распределения известен, но зависит от одного или нескольких неизвестных параметров. Например,  $f(x)$  – известная плотность распределения, а  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  – неизвестный параметр. Требуется по выборке  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  оценить параметр  $P$ .

Существует несколько методов оценки параметра  $P$ . Мы рассмотрим два из них – **метод моментов** и **метод функции правдоподобия**.

Метод моментов заключается в том, что теоретический момент  $k$ -го порядка  $a_i = a_i(P)$  приравнивают к соответствующему выборочному моменту  $\alpha_i$ . Из полученного уравнения  $a_i(P) = \alpha_i$  находят неизвестный параметр  $P$ . Например, случайная величина  $x$  (время безотказной работы элемента производственной системы) распределена по экспоненциальному закону:



$$f(t) = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}, \quad t \geq 0, \quad (8.22)$$

где  $T$  – неизвестный параметр. Оценим его по методу моментов. Для этого найдем первый начальный момент:

$$a_1 = \int_{-\infty}^{\infty} tf(t)dt = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} te^{-\frac{t}{T}} dt = T. \quad (8.23)$$

Так как первый выборочный момент равен  $Mx$ , то из равенства  $a_1 = a_1$  получим  $T = Mx$ . Таким образом, оценкой неизвестного параметра  $T$ , найденной по методу моментов, является среднее выборочное  $Mx$ .

Пусть  $L(u, P)$  – плотность распределения выборочного вектора  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  – неизвестный параметр.  $L(u, P)$  – функция двух аргументов, неслучайного  $P$  и случайного  $u$ , называется функцией правдоподобия. Так как  $L(u, P)$  – плотность распределения, то оценка параметра  $P$ , доставляющая **максимум функции правдоподобия**, является наиболее вероятной. Отсюда

$$\frac{\partial L(x, P)}{\partial P} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial}{\partial P} [\ln L(x, P)] = 0 \quad (8.24)$$

есть необходимые условия существования максимума.

Оценка, полученная из условий (8.24), называется **оценкой наибольшего правдоподобия**.

Пусть  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – случайная выборка из генеральной совокупности, распределенной по нормальному закону

$$f(x, P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8.25)$$

где  $P = (\mu, \sigma)$  – неизвестный параметр.

Запишем функцию правдоподобия. Так как  $x, P$  – независимые случайные величины, распределенные по тому же закону, а плотность распределения вектора равна произведению плотностей составляющих вектора, то функция правдоподобия будет следующей:

$$L(x, P) = \prod_{i=1}^n f(x_i, P) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2\right). \quad (8.26)$$

Пусть  $x$  – дискретная случайная величина, закон распределения которой зависит от неизвестного параметра  $p(X = x_i) = p_i(P)$ . Будем

рассматривать выборку  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  как реализацию того, что случайная величина приняла последовательно значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Вероятность этого равна произведению вероятностей. Следовательно, функция правдоподобия будет иметь вид:

$$L(x, P) = \prod_{i=1}^n P(x_i, P). \quad (8.27)$$

Если найденные параметры функции правдоподобия совпадут по величине с математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением, то это свидетельство того, что элементы выборки согласуются с нормальным законом распределения. Листинг 8.1 содержит исходные данные и результаты проверки нормального закона распределения выборочной совокупности.

**Листинг 8.1. Программа проверки нормальности закона распределения выборочной совокупности с помощью пакета Mathcad**

**Загрузка данных из файла: particle.txt**

$Y := \text{READPRN}(\text{"particle.txt"})$

Результаты измерений случайной величины

Количество элементов

$n := \text{length}(Y) \quad n = 32$

$j := 0.. n - 1$

|         |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Y^T =$ |   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|         | 0 | 11.2 | 12.4 | 14.5 | 15.6 | 16.1 | 18.2 | 17.8 | 15.3 | 16.2 | 15.4 |

**Обработка результатов измерений**

Группировка. Вариационный ряд

$y := \text{sort}(Y)$

|         |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $y^T =$ |   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|         | 0 | 11.2 | 12.4 | 14.5 | 15.3 | 15.4 | 15.6 | 15.8 | 16.1 | 16.2 | 16.7 |

Размах выборки

$R := y_{n-1} - y_0$

$R = 12$

Число разрядов ("бинов"), необходимых для группировки и построения гистограммы

$N_{bin} := \text{round}(1 + 3.2 \cdot \ln(n))$

$N_{bin} = 12$

$k := N_{bin}$

$i := 0.. k - 1$

Длина разряда

$h := \frac{R}{k}$

$h = 1$

Определение середин разрядов

$$x_{r_0} := y_0$$

$$x_{r_{i+1}} := x_{r_i} + h$$

$$x_{r_k} := x_{r_k} + 10^{-2}$$

$$x_{s_i} := \frac{x_{r_{i+1}} + x_{r_i}}{2}$$

Определение абсолютных частот

$$\omega := \text{hist}(k, y)$$

$$\omega^T =$$

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 6 | 1 | 7 | 2 | 5 | 2 |

Относительные частоты

$$p := \frac{\omega}{n}$$

$$p^T =$$

|   |       |       |   |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0     | 1     | 2 | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 0 | 0.031 | 0.031 | 0 | 0.031 | 0.188 | 0.031 | 0.219 | 0.063 | 0.156 | 0.063 |

Если гипотеза о соответствии анализируемой последовательности нормальному закону распределения верна, то значения параметров  $Mx$  и  $\sigma$  для проверки этого закона можно вычислить по следующим формулам.

Математическое ожидание

$$Mx := \text{mean}(Y)$$

$$Mx = 18.241$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma := \text{stdev}(Y)$$

$$\sigma = 2.855$$

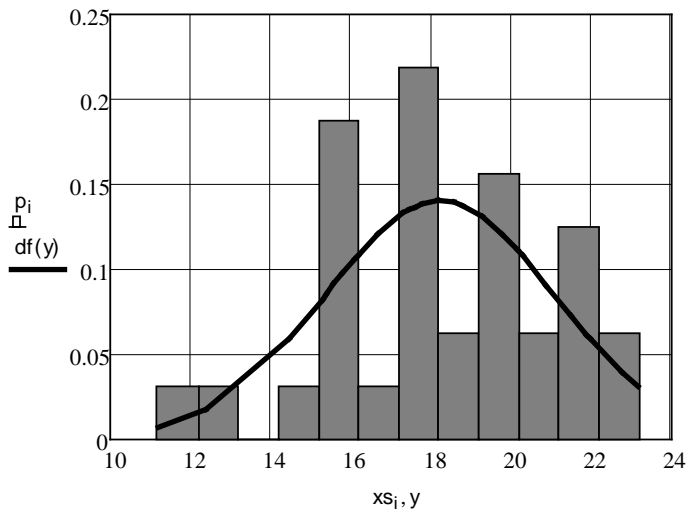
Теоретическая плотность распределения

$$f(x, Mx, \sigma) := \left( \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \right) \cdot e^{-\frac{(x-Mx)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

Та же формула, но с использованием встроенной функции

$$df(x) := \text{dnorm}(x, Mx, \sigma)$$

**График эмпирической и теоретической плотности вероятности распределения**



**Проверка анализируемой последовательности на соответствие нормальному закону распределения с помощью центральных статистических моментов:**

а) Расчет асимметрии:

$$A := \frac{1}{n \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - Mx)^3 \quad A = -1.021$$

б) Расчет эксцесса:

$$E := \frac{1}{n \cdot \sigma^4} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - Mx)^4 - 3 \quad E = -0.253$$

б) Дисперсия асимметрии:

$$D_A := \frac{6 \cdot (n - 1)}{(n + 1) \cdot (n - 3)} \quad D_A = 0.194$$

в) Дисперсия эксцесса:

$$D_E := \frac{24 \cdot (n - 2) \cdot (n - 3)}{(n + 1)^2 \cdot (n + 3) \cdot (n + 5)} \quad D_E = 0.0148$$

Критерии согласия:

1 - критерий выполняется; 0 - критерий не выполняется

$$K_1 := \text{if}(|A| \leq 3 \cdot \sqrt{D_A}, 1, 0) \quad K_1 = 1$$

$$K_2 := \text{if}(|E| \leq 5 \cdot \sqrt{D_E}, 1, 0) \quad K_2 = 1$$

$$\text{Result} := \text{if}(K_1 \wedge K_2, 1, 0) \quad \text{Result} = 1$$

**Согласно вычисленным критериям анализируемая последовательность соответствует нормальному закону распределения**

**Проверка анализируемой последовательности на соответствие нормальному закону распределения с помощью критерия Пирсона**

Плотность вероятности распределения хи-квадрат

$\alpha := 0.05$

$$f_x(x, n) := \frac{x^{\frac{n}{2}-1} \cdot e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\frac{n}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}$$

$r := k - 1$

$r = 11$

Теоретические вероятности

$pr_i := df(xs_i) \cdot h$

|          |   |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $pr^T =$ |   | 0    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|          | 0 | 0.01 | 0.021 | 0.039 | 0.065 | 0.094 | 0.121 | 0.137 | 0.138 | 0.123 | 0.096 |

Эмпирические вероятности

$$p_{\omega} := \frac{\omega}{n}$$

|         |   |       |       |   |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|---|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p^T =$ |   | 0     | 1     | 2 | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|         | 0 | 0.031 | 0.031 | 0 | 0.031 | 0.188 | 0.031 | 0.219 | 0.063 | 0.156 | 0.063 |

Расчетное значение критерия Пирсона

$$\chi := n \cdot \sum_i \frac{(p_i - pr_i)^2}{pr_i} \quad \chi = 13.975$$

Вычисление табличного значения критерия Пирсона

$y := r$

$$w := \text{root} \left[ \int_0^y f_x(x, r) dx - (1 - \alpha), y \right] \quad w = 19.675$$

$\text{if}(\chi < w, \text{"True"}, \text{"False"}) = \text{"True"}$

**Согласно критерию Пирсона рассматриваемая последовательность соответствует нормальному закону распределения**  
**Оценка параметров нормального закона распределения с помощью критерия максимального правдоподобия**

Выборка значений размера частиц осадка сточных вод

$x :=$



|         |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $x^T =$ |   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|         | 0 | 11.2 | 12.4 | 14.5 | 15.6 | 16.1 | 18.2 | 17.8 | 15.3 | 16.2 | 15.4 |

Количество элементов в выборке

$n := \text{length}(x)$

$i := 0.. n - 1$

### Ожидаемые параметры распределения:

математическое ожидание  $\mu := 18$

среднеквадратическое отклонение  $\sigma := 3$

### Вычисление моментов

1-й начальный момент (оценка математического ожидания)

$$m_1 := \frac{1}{n} \cdot \sum_i x_i$$

$$m_1 = 18.241$$

2-й центральный момент (оценка дисперсии)

$$m_2 := \frac{1}{n-1} \cdot \sum_i (x_i - m_1)^2$$

$$m_2 = 8.413$$

оценка ср. кв. отклонения

$$\hat{s} := \sqrt{m_2}$$

$$s = 2.9$$

### Оценка параметров нормального распределения

Плотность нормального распределения

$$f(x, \mu, \sigma) := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \exp\left[\frac{-(x - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right]$$

Функция правдоподобия

$$L(\mu, \sigma) := \prod_i f(x_i, \mu, \sigma)$$

### Поиск наиболее правдоподобных значений параметров

$$\mu_1 := \mu \quad \sigma_1 := \sigma$$

**Given**

$$\sigma_1 > 0$$

$$\frac{d}{d\mu_1} \ln(L(\mu_1, \sigma_1)) = 0$$

$$\frac{d}{d\sigma_1} \ln(L(\mu_1, \sigma_1)) = 0$$

$$m := \text{Find}(\mu_1, \sigma_1)$$

**Найденные наиболее правдоподобные значения параметров**

$$m = \begin{pmatrix} 18.241 \\ 2.855 \end{pmatrix}$$

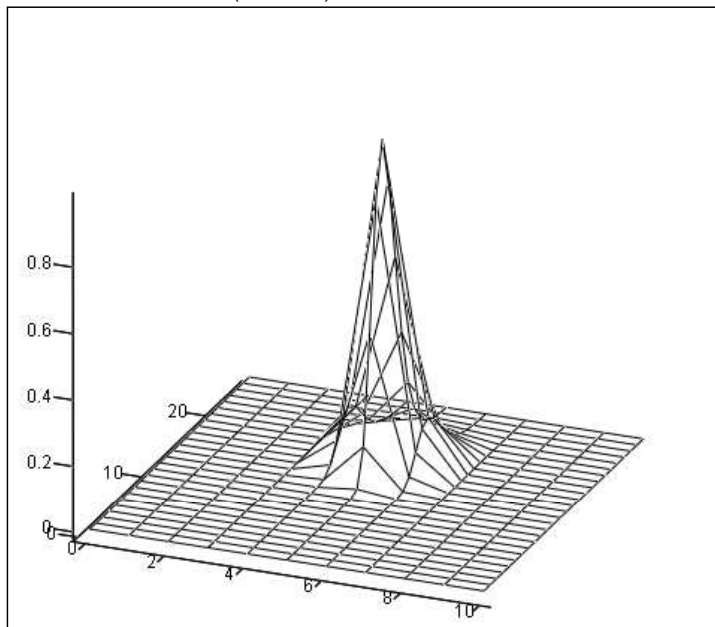
Математическое ожидание            18.241  
 Среднеквадратическое отклонение    2.855  
 Оценка параметров  
 $m_1 = 18.241$   
 $s = 2.9$

### График функции правдоподобия

```

i := 0..10
j := 0..25
m0 = 18.241
m1 = 2.855
wi,j :=  $\frac{L(m_0 - 5 + i, m_1 - 3 + 0.2 \cdot j)}{L(m_0, m_1)}$ 

```



w

Таким образом, все три критерия согласия указывают на нормальность закона распределения выборочной совокупности.

Вот только после этого с полным правом можно приступить к определению основных статистических характеристик и границ доверительного интервала (см. листинг 8.2).

### Листинг 8.2. Программа расчета основных статистических характеристик и границ доверительного интервала

1. Математическое ожидание:

$$\underline{Mx} := \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=0}^{n-1} Y_i \right) \quad Mx = 18.241$$

2. Дисперсия:

$$Dx := \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - Mx)^2 \quad Dx = 8.41281$$

3. Среднеквадратическое отклонение  
(Разброс значений случайной величины относительно математического ожидания):

$$\underline{\sigma} := \sqrt{Dx} \quad \sigma = 2.9$$

4. Стандартная ошибка среднего:

$$Sx := \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad Sx = 0.513$$

4. Определение ошибочного элемента последовательности  
(если коэффициент ошибки  $V_i(X_i)$  больше 2.4, то элемент можно исключить из последовательности как ошибочный):

$$\underline{V}_i := \frac{|Y_i - Mx|}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n}}}$$

$$V^T =$$

|   |      |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
|---|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|   | 0    | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     |
| 0 | 2.39 | 1.983 | 1.27 | 0.897 | 0.727 | 0.014 | 0.15 | 0.998 | 0.693 | 0.964 |

### Расчет границ доверительного интервала

Доверительная вероятность 0.95

Левая граница:

$$\Delta_{\text{left}} := Mx - \frac{1.96 \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad \Delta_{\text{left}} = 17.23566$$

Правая граница:

$$\Delta_{\text{right}} := Mx + \frac{1.96 \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad \Delta_{\text{right}} = 19.24559$$

Абсолютная величина интервала:

$$\Delta := |\Delta_{\text{right}} - \Delta_{\text{left}}|$$

$$\Delta = 2.01$$

Относительная величина:

$$\Delta_{\text{отн}} := \frac{\Delta}{\max(Y) - \min(Y)}$$

$$\Delta_{\text{отн}} = 0.16749$$



## 8.2. Корреляционный анализ химико-технологических систем

В химической технологии редко приходится иметь дело с точными (функциональными) связями, когда каждому значению одной величины соответствует строго определенное значение другой величины. Здесь чаще встречаются такие соотношения между переменными, когда каждому значению признака  $x$  соответствует не одно, а множество возможных значений признака  $y$ , т. е. их распределение. Такие связи, обнаруживаемые лишь при массовом изучении признаков, называются *стохастическими* (вероятностными) или корреляционными.

Математический анализ связей, существующих между случайными величинами  $x$  и  $y$ , составляет содержание корреляционного анализа. Корреляционный анализ сводится, прежде всего, к измерению степени тесноты сопряженности между варьирующимися признаками, в качестве показателя которой наибольшее распространение получил линейный коэффициент корреляции ( $R$ ).

Корреляцию нельзя отождествлять с причинностью. При этом следует иметь в виду, что доказательство математической связи должно опираться на реальную зависимость между явлениями, поскольку иногда можно установить несуществующие корреляции.

С точки зрения использования корреляционного анализа в природоохранной деятельности представляет интерес установление связи между несколькими признаками и одним оценочным параметром. Например, определить виновника загрязнения атмосферы города Минска среди нескольких предприятий, находящихся на его территории. На основе анализа корреляционных матриц можно выявить и оценить причинно-следственные связи между качеством окружающей среды и ее возможными загрязнителями.

Однако следует предостеречь тех, кто приступает к изучению проблемы, от механического применения корреляционного подхода к решению практических задач. Метод хорош лишь в тех случаях, когда между признаками можно уверенно предположить линейную взаимосвязь. Поэтому фактически тесно взаимосвязанные признаки могут привести к получению низких значений коэффициентов парной корреляции лишь потому, что математическое описание их взаимосвязи отличается от линейной зависимости. С другой стороны,

несомненно, не связанные друг с другом факторы могут привести к получению высоких значений  $R_{(x, y)}$ . Например, если рассмотреть за одно и то же календарное время число пролетевших аистов и количество родившихся детей.

Любой показатель связи служит приближенной оценкой рассматриваемой зависимости и не является гарантией существования жесткой (функциональной) соподчиненности.

По форме корреляционная связь бывает линейной и нелинейной (криволинейной), по направлению – прямой и обратной, по величине – от 0 до  $\pm 1$ , по количеству рассматриваемых признаков – парной и множественной.

Выделяется несколько видов парной корреляционной связи:

– *параллельно-соотносительная*, или ассоциативная, когда оба признака изменяются сопряженно;

– *субпричинная*, когда один фактор выступает как отдельная причина сопряженного изменения признака;

– *взаимоупреждающая*, когда причина и следствие, находясь в устойчивой взаимосвязи, последовательно влияют друг на друга.

### **8.2.1. Коэффициент парной корреляции**

**Коэффициент корреляции** ( $R$ ) позволяет, с одной стороны, оценить тесноту связи случайных величин, с другой, – выяснить, какая доля изменений признака обусловлена влиянием основного фактора, какая – влиянием других факторов. При положительной зависимости величина коэффициента корреляции изменяется от 0 до +1, при отрицательной – от 0 до –1. Если  $R = 0$ , то связь между признаками отсутствует. Принято считать, что при  $R < 0,5$  корреляционная связь слабая, при  $R \sim 0,5-0,7$  – средняя, при  $R = 0,7-0,99$  – сильная.

Коэффициент корреляции приближенно характеризует тесноту связи между признаками. Поэтому иногда при высоком значении коэффициента корреляции и небольшом объеме выборки связь между признаками может быть слабой. Мерой корреляционной связи является также коэффициент детерминации  $d_{xy}$ , который определяется по формуле  $d_{xy} = R^2$ .

**Коэффициент детерминации** указывает на долю взаимной связи между признаками. Например, если  $R = 0,5$ , то  $d_{xy} = 0,25$ , т. е. 25% всех изменений одного признака связано с изменением другого. Отсюда следует, что при  $R > 0,7$  истинная взаимообусловленность признаков составляет около 50%.

Одна и та же величина коэффициента корреляции будет по-

разному определять достоверность зависимости признаков для малых и больших выборок. Например, при  $P = 0,95$  для  $n = 5$  достоверны значения  $R > 0,878$ , для  $n = 20$  достоверной величиной будет  $R > 0,44$ , для  $n = 100$  достоверны значения  $R > 0,196$ .

При работе с малыми выборками для расчета коэффициента корреляции используется следующая формула:

$$R_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (8.28)$$

в которой  $(x_i - \bar{x})$ ,  $(y_i - \bar{y})$  – отклонения значений индивидуальных вариантов от их средних значений.

Любой выборочный (эмпирический) коэффициент корреляции, являясь величиной случайной, может оказаться отличным от нуля даже при независимом варьировании признаков  $x$  и  $y$ . Отсюда возникает необходимость проверки надежности связи  $R_{x,y}$ .

При использовании  $t$ -критерия Стьюдента для доказательства достоверности  $R_{x,y}$ , вначале определяется стандартная (квадратическая) ошибка коэффициента корреляции по формуле

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}}, \quad (8.29)$$

где  $n$  – число сопряженных пар в сравниваемых выборочных совокупностях.

Значение коэффициента корреляции записывается с учетом его ошибки  $R_{x,y} \pm \sigma_R$ . Затем проверяется нулевая гипотеза  $H_0$ , которая заключается в предположении, что между случайными величинами  $x$  и  $y$  корреляция отсутствует.

Для проверки нулевой гипотезы используется  $t$ -критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|R_{x,y}|}{\sigma_R}. \quad (8.30)$$

Выборочная функция  $t$  при условии  $H_0$  удовлетворяет распределению Стьюдента с  $m = n - 2$  степенями свободы. При уровне значимости  $\alpha$  и  $m$  степенях свободы по таблице  $t$ -распределения Стьюдента можно найти значение предела  $t_{\alpha, m}$ . При  $t \geq t_{\alpha, m}$  гипотеза должна быть отвергнута. Это значит, что выборочный коэффициент корреляции  $R_{x,y}$  существенно отличен от нуля.

### 8.2.2. Коэффициент множественной корреляции

Корреляция называется множественной, если на величину результативного признака одновременно влияют несколько факториальных.

При множественном корреляционном анализе вычисляются два типа парных коэффициентов корреляции:

–  $R_{y/x}$  – коэффициенты, определяющие тесноту связи между функцией отклика и одним из факторов  $x_i$ ;

–  $R_{x/x_m}$  – коэффициенты, показывающие тесноту связи между одним из факторов и фактором  $x_m (i, m = 1, k)$ , где  $k$  – число факторов.

После вычисления всех парных коэффициентов корреляции и исключения из рассмотрения того или иного фактора можно построить корреляционную матрицу:

$$R_{y/x} = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx_1} & r_{yx_2} & \dots & r_{yx_j} & \dots & r_{yx_k} \\ r_{x_1y} & 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_j} & \dots & r_{x_1x_k} \\ r_{x_2y} & r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_j} & \dots & r_{x_2x_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_jy} & r_{x_jx_1} & r_{x_jx_2} & \dots & 1 & \dots & r_{x_jx_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_ky} & r_{x_kx_1} & r_{x_kx_2} & \dots & r_{x_kx_j} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (8.31)$$

Используя матрицу (8.31), можно вычислить частные коэффициенты корреляции, которые показывают степень влияния одного из факторов  $x_j$  на функцию отклика  $y$  при условии, что остальные факторы имеют постоянный уровень (закреплены на нем). Формула для вычисления частных коэффициентов корреляции следующая:

$$r_{yx_1, x_2, x_3, \dots, x_j, \dots, x_k} = \frac{D_{1j}}{\sqrt{D_{11}D_{jj}}}, \quad (8.32)$$

где  $D_{1j}$  – определитель матрицы, образованной из корреляционной матрицы вычеркиванием 1-й строки  $j$ -го столбца. Определители  $D_{11}$  и  $D_{jj}$  вычисляются аналогично, как и парные коэффициенты; частные коэффициенты корреляции изменяются от  $-1$  до  $+1$ .

Для изучения тесноты связи между функцией отклика  $y$  и несколькими факторами  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_k$  используется коэффициент множественной корреляции  $R$ . Коэффициент множественной корреляции служит для оценки качества

предсказания;  $R$  – всегда положителен и изменяется от 0 до 1. Чем больше  $R$ , тем лучше качество полученной модели.

Для вычисления коэффициента множественной корреляции используется корреляционная матрица (8.31):

$$R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{11}}}, \quad (8.33)$$

где  $D$  – определитель корреляционной матрицы (8.31);  $D_{11}$  – минор определителя, получаемый из корреляционной матрицы (8.31) путем исключения первой строки и первого столбца матрицы. Листинг программы вычисления корреляционной матрицы представлен ниже.

**Листинг 8.3. Программа вычисления корреляционной матрицы в среде Mathcad**

| №  | Независимые факторы технологического процесса |                        |                | Содержание соединений F, S, N в отходящих газах (мг/м <sup>3</sup> ) |      |
|----|---|------------------------|----------------|--|------|
|    | x <sub>1</sub>                                | x <sub>2</sub>         | x <sub>3</sub> | F  | S    |
| 1  | 1051,85                                       | 0,30                   | 11,33          | 0,60   | 1,53 |
| 2  | 1046,70                                       | 0,30                   | 10,82          | 0,64   | 1,53 |
| 3  | 1047,21                                       | 0,39                   | 12,83          | 0,56   | 1,62 |
| 4  | 1055,99                                       | 0,37                   | 12,24          | 0,65   | 1,58 |
| 5  | 1052,90                                       | 0,12                   | 11,07          | 0,63   | 1,57 |
| 6  | 1050,60                                       | 0,54                   | 12,13          | 0,58   | 1,52 |
| 7  | 1056,74                                       | 0,43                   | 13,41          | 0,66   | 1,52 |
| 8  | 1056,71                                       | 0,17                   | 10,05          | 0,48   | 1,60 |
| 9  | 1058,13                                       | 0,30                   | 9,50           | 0,53   | 1,71 |
| 10 | 1064,34                                       | 0,16                   | 11,31          | 0,48   | 1,49 |
| 11 | 1059,09                                       | 0,48                   | 10,65          | 0,67   | 1,55 |
| 12 | 1068,81                                       | 0,31                   | 11,94          | 0,63   | 1,60 |
| 13 | 1071,77                                       | 0,38                   | 9,07           | 0,70   | 1,59 |
| 14 | 1073,62                                       | 0,18                   | 9,91           | 0,54   | 1,47 |
| 15 | 1074,22                                       | 0,54                   | 8,31           | 0,53   | 1,63 |
| 16 | 1076,46                                       | 0,31                   | 9,60           | 0,46   | 1,57 |
|    | x <sub>1</sub> (°C)                           | Температура в печи     |                |  |      |
|    | x <sub>2</sub> (м)                            | толщина холодной шихты |                |  |      |
|    | x <sub>3</sub> (%)                            | влажность шихты        |                |  |      |

**Исходные данные**

```
Data := (
1051.85  0.3  11.33  0.6  1.53
1046.7   0.3  10.82  0.64 1.53
1047.21  0.39 12.83  0.56 1.62
1055.99  0.37 12.24  0.65 1.58
1052.9   0.12 11.07  0.63 1.57
1050.6   0.54 12.13  0.58 1.52
1056.74  0.43 13.41  0.66 1.52
1056.71  0.17 10.05  0.48 1.6
1058.13  0.3   9.5   0.59 1.71
1064.34  0.16 11.31  0.41 1.49
1059.09  0.48 10.65  0.57 1.55
1068.81  0.31 11.94  0.53 1.6
1071.77  0.38 9.07   0.47 1.59
1073.62  0.18 9.91   0.34 1.47
1074.22  0.54 8.31   0.43 1.63
1076.46  0.31 9.6    0.36 1.57
)
```

Количество измерений

$N := \text{rows}(\text{Data})$

$N = 16$

Количество факторов

$M := \text{cols}(\text{Data})$

$M = 5$

$i := 0.. N - 1$

$j := 0.. M - 1$

### Расчет матрицы коэффициентов множественной корреляции (корреляционной матрицы)

1. Расчет средних значений:

$$Dm_j := \frac{1}{N} \cdot \sum_i Data_{i,j}$$

$$Dm^T = (1060.32125 \quad 0.33 \quad 10.88562 \quad 0.53125 \quad 1.5675)$$

2. Расчет эмпирических стандартов:

$$Sd_j := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_i (Data_{i,j} - Dm_j)^2$$

$$Sd^T = (98.63341 \quad 0.01687 \quad 2.01815 \quad 0.01083 \quad 0.00353)$$

3. Расчет матрицы коэффициентов корреляции

```

Rd :=
  for i ∈ 0.. M - 1
    for k ∈ 0.. M - 1
      Sk ← 0
      for j ∈ 0.. N - 1
        Sk ← Sk + (Dataj,i - Dmi) · (Dataj,k - Dmk)
      Ri,k ←  $\frac{S_k}{(N-1) \cdot (\sqrt{Sd_i}) \cdot \sqrt{Sd_k}}$ 
  R

```

**Расчетная матрица корреляционных коэффициентов, определяющих взаимосвязь между параметрами:**

$$Rd = \begin{pmatrix} 1 & -0.019 & -0.614 & -0.808 & 0.014 \\ -0.019 & 1 & 0.08 & 0.218 & 0.172 \\ -0.614 & 0.08 & 1 & 0.596 & -0.318 \\ -0.808 & 0.218 & 0.596 & 1 & 0.152 \\ 0.014 & 0.172 & -0.318 & 0.152 & 1 \end{pmatrix}$$

#### Анализ результатов

В результате расчетов выявлены следующие зависимости между факторами:

1. Температура в печи - содержание фтористых соединений в отходящих газах коэффициент корреляции: -0,808. Знак (-) показывает, что зависимость обратно-пропорциональна.
2. Влажность шихты - содержание фтористых соединений коэффициент корреляции: 0,596.
3. Влажность шихты - содержание соединений серы коэффициент корреляции: -0,318. Знак (-) показывает что зависимость обратно-пропорциональна.

#### Проверка алгоритма стандартными функциями MathCAD

Ккоэффициенты парной корреляции для всех выбранных параметров

1. Температура в печи - содержание фтористых соединений в отходящих газах

$$\frac{\text{cvar}(\text{Data}^{(0)}, \text{Data}^{(3)})}{\text{stdev}(\text{Data}^{(0)}) \cdot \text{stdev}(\text{Data}^{(3)})} = -0.80827$$

Расчитанный методом множественной корреляции

$$Rd_{3,0} = -0.80827$$

2. Влажность шихты - содержание фтористых соединений

$$\frac{\text{cvar}(\text{Data}^{(2)}, \text{Data}^{(3)})}{\text{stdev}(\text{Data}^{(2)}) \cdot \text{stdev}(\text{Data}^{(3)})} = 0.59641$$

Расчитанный методом множественной корреляции

$$Rd_{2,3} = 0.59641$$

3. Влажность шихты - содержание соединений серы

$$\frac{\text{cvar}(\text{Data}^{(2)}, \text{Data}^{(4)})}{\text{stdev}(\text{Data}^{(2)}) \cdot \text{stdev}(\text{Data}^{(4)})} = -0.31828$$

Рассчитанный методом множественной корреляции

$$\text{Rd}_{2,4} = -0.31828$$

**Вывод:**

Приведенный в рабочем примере алгоритм адекватен, так как его результаты соответствуют результатам стандартных системных алгоритмов

### **8.3. Комплексная оценка качества продукции по нескольким признакам**

Чтобы оценить качество продукции по нескольким признакам, в качестве оценочного критерия может быть использована «функция желательности», позволяющая преобразовать массив выходных величин большой размерности в один столбец обобщенных результатов наблюдений.

Эталон комплекса требуемых показателей качества может быть составлен из любого набора значений по каждому признаку.

Функция желательности полезна везде, где требуется получить обобщенную, комплексную оценку в виде одной численной величины по нескольким признакам одновременно.

Формирование функции желательности начинается с изображения декартовой системы координат, ордината которой представляет собой безразмерную равномерную шкалу частных функции желательности, изменяющихся от нуля до единицы и характеризующих качество продукции по каждому показателю. Оси абсцисс представляют собой натуральные равномерные шкалы значений тех показателей, по которым оценивается качество продукции. Чтобы увеличить эффективность алгоритма, шкалы показателей качества должны иметь возможность перемещаться в двух направлениях в горизонтальной плоскости, сжиматься и растягиваться до необходимой степени, чтобы можно было зафиксировать любую шкалу в любом положении относительно любой из двух экспоненциальных кривых, расположенных в координатном пространстве и имеющих ограничения с одной или с двух сторон.

Кривые, ограниченные с одной стороны, используются в тех случаях, когда за значения показателей качества продукции будут приниматься все такие значения, которые больше или меньше



определенной установленной величины.

Кривые с двухсторонними ограничениями используются тогда, когда качество продукции располагается в определенном диапазоне значений показателей, причем изменения значений показателя в обе стороны от установленных границ считаются явлением нежелательным.

Степень крутизны кривой задается определением и фиксацией координаты проекции точки секущей при  $d = 0,33$  на ось абсцисс. Значения  $0,05 \leq d \leq 0,33$  характеризуют неприемлемость качества по рассматриваемому показателю, но представляют чисто познавательный интерес (это плохо, но насколько плохо?)

Асимметричная кривая 1 (рис. 8.3) с односторонним ограничением описывается уравнением

$$d_{ij} = e^{-e^{(b_0 + b_1 Y_{ij})}}, \quad (8.34)$$

где  $d_{ij}$  – частные функции желательности для  $j$ -го показателя качества  $i$ -го образца;  $b_0$  и  $b_1$  – эмпирические коэффициенты;  $Y_{ij}$  – текущие (измеренные) значения  $i$ -го образца  $j$ -го показателя качества.

Эмпирические коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  в (8.34) определяются из выражений:

$$b_1 = \frac{\ln \ln |D2_j| - \ln \ln |D1_j|}{K2_j - K1_j}; \quad (8.35)$$

$$b_0 = \ln \ln |D1_j| - b_1 K1_j, \quad (8.36)$$

где  $K1_j$  и  $D1_j$ ,  $K2_j$  и  $D2_j$  – попарные элементы массивов, являющиеся координатами двух точек на кривой 1 для каждого показателя;  $K1_j$  – проекция точки на ось абсцисс, соответствующей  $d = 0,33$ ;  $K2_j$  – идеальное реально достижимое значение показателя качества при  $d = 0,995$ .

При двухсторонних ограничениях кривая 2 задается выражением

$$d_{ij} = e^{-(|Y'_{ij}|)^N}. \quad (8.37)$$

В формуле (8.37) параметр  $Y'_{ij}$  представляет собой выражение

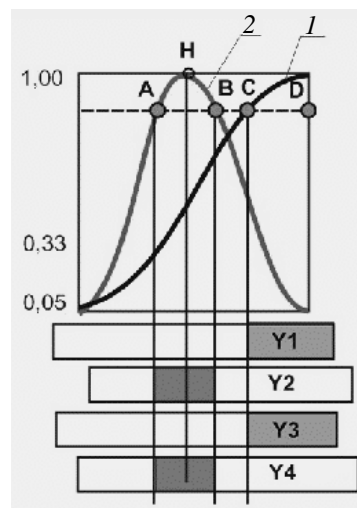


Рис. 8.3. Система координат для формирования настраиваемой функции желательности

$$|Y'_{ij}| = \frac{2Y_{ij} - (Y_{\max} + Y_{\min})}{Y_{\max} - Y_{\min}}, \quad (8.38)$$

где  $Y_{ij}$  – измеренное значение  $j$ -го показателя качества для  $i$ -го образца;  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  – левая и правая границы диапазона значений  $j$ -го показателя, внутри которого будет оцениваться качество.

$N$  характеризует крутизну и острровершинность кривой 2. Значение  $N$  можно определить, воспользовавшись координатами одной точки, принадлежащей кривой:

$$N = \ln \left[ \frac{\ln(1/Y_{\lim})}{\ln|(Y')|} \right], \quad (8.39)$$

где  $Y_{\lim}$  – значение показателя, при котором качество оценивается как брак.

При двухсторонних ограничениях кривая 2 может также задаваться выражением

$$d_{ij} = e^{-(Y_{ij} - Mx_j)^2 / 2\sigma_j^2}, \quad (8.40)$$

где  $d_{ij}$  – частные функции желательности для  $j$ -го показателя качества  $i$ -го образца;  $Y_{ij}$  – текущие (измеренные) значения  $i$ -го образца  $j$ -го показателя качества;  $Mx_j$  – наилучшее значение  $j$ -го показателя качества;  $\sigma_j$  – значение  $j$ -го показателя качества, соответствующего значению 0,33 частной функции желательности.

Обобщенный критерий качества вычисляется по формуле

$$D_i = \left( \prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{1/\sum_{j=1}^p \delta_j}, \quad (8.41)$$

где  $p$  – количество обобщаемых показателей качества продукции;  $d_{ij}$  – частные функции желательности  $i$ -го образца по  $j$ -му показателю;  $\delta_j$  – статистический вес (важность)  $j$ -го показателя качества ( $0 \leq \delta_j \leq 1$ ).

### 8.3.1. Правила настраивания функции желательности по кривой с односторонними ограничениями

Вся ось ординат от нуля до единицы условно делится на несколько участков, например, при  $d \leq 0,33$  качество продукции должно рассматриваться как брак и регламентироваться соответствующим ГОСТом, а качество окружающей среды при таких значениях  $d$  считается недопустимым; значение  $d = 0,33$  получается тогда, когда на оси абсцисс этому значению  $d$  соответствует ПДК загрязняющего

вещества. Диапазон  $0,33 \leq d \leq 0,50$  будет характеризовать удовлетворительное качество, диапазон  $0,5 \leq d \leq 0,75$  – хорошее, а при  $d \geq 0,75$  качество объекта можно оценить как отличное.

На подвижной оси абсцисс, на которой будут фиксироваться результаты измерения качества по рассматриваемому показателю, путем перемещения непрерывной равномерной шкалы в любую сторону значение ПДК (или другого ограничения по ГОСТу) совмещается с проекцией точки на кривой  $d$ , соответствующей  $d = 0,33$  (точка  $E$  на рис. 8.4).

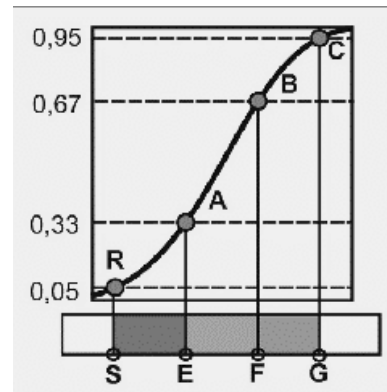


Рис. 8.4. Настройка функции желательности по кривой с односторонними

ограничениями достижимое значение показателя качества при  $d = 0,995$  (единица в этом случае есть лишь асимптотически приближаемое значение функции). Указанное действие иллюстрирует точка  $G$  на рис. 8.4. Зафиксировав путем сжимания или растягивания шкалы абсцисс значения показателя качества, соответствующие  $d = 0,33$  и  $d = 0,96$ , можно определить цену деления шкалы абсцисс и ее рабочий диапазон (отрезок  $EG$  на рис. 8.4). Теперь для любого измеренного значения показателя качества легко графически определяется соответствующее значение  $d$ .

### 8.3.2. Правила настраивания функции желательности по кривой с двухсторонними ограничениями

Первое правило настраивания функции желательности по кривой с двухсторонними ограничениями аналогично первому правилу настраивания функции желательности по кривой с односторонними ограничениями.

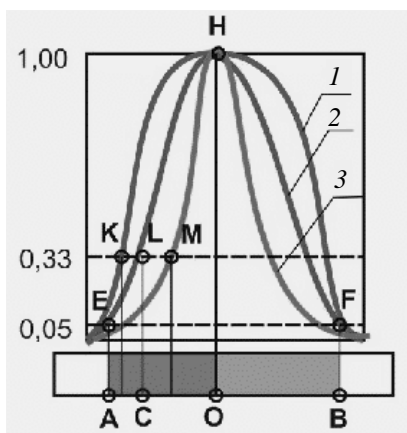


Рис. 8.5. Настройка функции желательности по кривой с двухсторонними ограничениями

На подвижной оси абсцисс, где будут фиксироваться результаты измерения качества по рассматриваемому показателю, путем перемещения непрерывной равномерной шкалы в любую сторону идеальное значение показателя качества совмещается с проекцией точки  $H$ , соответствующей  $d = 1,0$ , на ось абсцисс (точка  $O$  на рис. 8.5).

Это значение будет соответствовать параметру  $Y_{d=1}$  в формуле (8.37) или параметру  $Mx_j$  в формуле (8.40).

Чтобы определить цену деления шкалы абсцисс, на ней необходимо отметить такое значение оцениваемого показателя  $Y_{\min}$ , которое соответствует  $d = 0,05$  (точка  $A$  на рис. 8.5), т. е. все значения  $d$ , оказавшиеся ниже этого предела, будут просто проигнорированы как не представляющие интереса (это фактически нулевое качество). Но при этом нужно помнить, что  $Y_{\min}$  – не начало координат. Поскольку экспоненциальная кривая с двухсторонними ограничениями является симметричной, то положение точки  $B$  и рабочий диапазон шкалы  $AB$  можно определить прибавлением к значению показателя качества при  $d = 1$  отрезка  $AO$ :

$$Y_{\max} = Y_{d=1} + (Y_{d=1} - Y_{\min}). \quad (8.42)$$

Зная положения и значения показателей в точках  $A, O, B$ , частную функцию желательности еще нельзя считать настроенной и зафиксированной в факторном пространстве. Через три точки  $E, H, F$  можно провести бесконечное множество экспоненциальных кривых с одинаковыми двухсторонними ограничениями, но с различной степенью островершинности (кривые 1, 2, 3). Единственность расположения кривой и определенность требований по каждому обобщаемому показателю будут устанавливаться по степени крутизны кривой, которую задает параметр  $N$  в формуле (8.37) или параметр  $\sigma_j$  в формуле (8.40).

Координаты точки  $C$  целесообразно определять по тем же правилам, которые сформулированы для настраивания функции желательности по кривой с односторонними ограничениями. Это обеспечит одинаковость оценок по обеим кривым, унифицирует процедуру настройки функций и интерпретации результатов.

### 8.3.3. Пример настраивания функции желательности

Обобщаемые показатели качества воздуха в помещении:

$Y(1)$  – температура, °С, (измеренное значение  $Y(1) = 17^\circ\text{C}$ );

$Y(2)$  – содержание  $\text{CO}$ ,  $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , (измеренное значение  $Y(2) = 0,025 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ). Табл. 8.1 заполнена в соответствии с пояснениями к рис. 8.4 и 8.5.

Таблица 8.1

#### Пример настраивания функции желательности

| № | Y(i) | Настройка по кривой с односторонними ограничениями |               |               | Настройка по кривой с двухсторонними ограничениями |            |                    |               |            |
|---|------|--|---------------|---------------|--|------------|--------------------|---------------|------------|
|   |      | $\delta$   | $K1_{d=0,33}$ | $K2_{d=0,99}$ | $\delta$   | $Y_{\min}$ | $Y_{\lim}(\sigma)$ | $Y_{d=1}(Mx)$ | $Y_{\max}$ |
|   | Y(1) |  |               |               | 0,9  | 3          | 15                 | 23            | 43         |
|   | Y(2) | 0,85   | 0,03          | 0,005         |  |            |                    |               |            |
|   | Y(3) |  |               |               |  |            |                    |               |            |
|   |      |  |               |               |  |            |                    |               |            |

$$b_1 = \frac{\ln \ln |D2_j| - \ln \ln |D1_j|}{K2_j - K1_j} = \frac{\ln \ln(0,95) - \ln \ln(0,33)}{0,005 - 0,03} = 188,1321.$$

$$b_0 = \ln \ln |D1_j| - b_1 K1_j = \ln \ln(0,33) - 188,1321 \cdot 0,03 = -5,54081.$$

$$d_{2,2} = e^{-e^{(b_0 + b_1 Y_{ij})}} = e^{-e^{(-5,54081 + 188,1321 \cdot 0,025)}} = 0,6487.$$

$$N = \ln \left[ \frac{\ln(1/d_{\lim})}{\ln \left( \frac{2Y_{\lim} - (Y_{\max} + Y_{\min})}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right)} \right], \quad N = \ln \left[ \frac{\ln(1/0,33)}{\ln \left( \frac{2 \cdot 15 - (43 + 3)}{43 - 3} \right)} \right],$$

$$N = 2,147.$$

$$d_{ij} = e^{-\left[ \frac{2Y_{ij} - (Y_{\max} + Y_{\min})}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right]^N}, \quad d_{1,1} = e^{-\left[ \frac{2 \cdot 17 - (53 + 3)}{43 - 3} \right]^{2,147}} = 0,93.$$

$$d_{ij} = e^{-\frac{(Y_{i,j} - Mx_j)^2}{2 \cdot \sigma_j^2}}, \quad d_{1,1} = e^{-\frac{((17-23))^2}{2 \cdot 15^2}} = 0,93.$$

$$D_i = \left( \prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{1/\sum_{j=1}^p \delta_j} = (0,6487^{0,85} \cdot 0,93^{0,90})^{\frac{1}{0,85+0,90}} = 0,779.$$

### 8.3.4. Расчет комплексной оценки качества продукции с помощью пакета Mathcad

Расчет комплексной оценки качества продукции иллюстрируется листингом 8.4.

**Листинг 8.4. Программа получения комплексной оценки качества продукции по нескольким признакам**

ORIGIN:= 1

**Задача.**

Даны 4 образца продукции, каждый из которых характеризуется тремя признаками. Определить, с какой степенью каждый из образцов удовлетворяет требованиям к качеству и вычислить обобщенный критерий качества по всем признакам.

**Решение:**

Задача решается методом комплексного анализа. Для этого нужно следовать следующему:

1. Настроить функции желательности для всех трех признаков исходя из критериев требуемого качества.
2. Рассчитать частные функции желательности для всех образцов продукции и вычислить обобщенный критерий.

Первый признак - влапопрочность

Второй признак - пластичность

Третий признак - сопротивление разрыву

**Исходные данные**

$$T := \begin{matrix} \text{Признаки} \\ \begin{pmatrix} 10 & 1200 & 1.3 \\ 12 & 1105 & 0.9 \\ 18 & 1300 & 2.5 \\ 16 & 1090 & 3.1 \end{pmatrix} \end{matrix} \text{ Образцы продукции}$$

Уровни нормировки для каждого из признаков и статистический вес

|             | Уровни   | Статистический вес   |
|-------------|--|--|
| 1-й признак | $Y := \begin{pmatrix} 0.05 & 0.33 & 0.95 \\ 8 & 11 & 20 \\ 800 & 1000 & 1450 \\ 0.1 & 0.3 & 2.5 \end{pmatrix}$ | $\delta := \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.65 \\ 0.95 \end{pmatrix}$ |
| 2-й признак |  |  |
| 3-й признак |  |  |

**Настраивание функций желательности****1. Нормировка первого признака (одностороннее ограничение)**

Значение признака в точке 0.33:

$$K_1 := Y_{1,2}$$

$$K_1 = 11$$

Значение признака в точке 0.95:

$$K_2 := Y_{1,3}$$

$$K_2 = 20$$

$$b_{1,2} := \frac{\ln(|\ln(0.95)|) - \ln(|\ln(0.33)|)}{K_2 - K_1}$$

$$b_{1,1} := \ln(|\ln(0.33)|) - b_{1,2} \cdot K_1$$

$$b = (3.859 \quad -0.341)$$

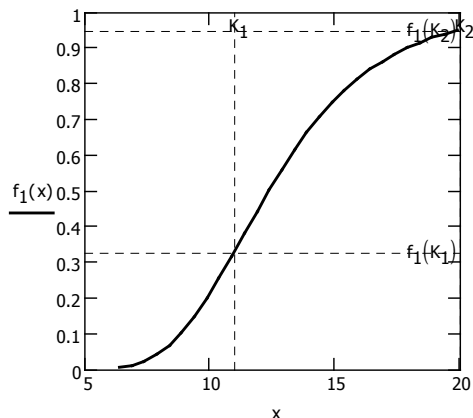
### Нормировочная функция для первого признака

$$f_1(y) := e^{-e^{b_{1,1} + b_{1,2} \cdot y}}$$

$$x_1 := 0.8 \cdot Y_{1,1}$$

Начальная точка графика - уровень 0.05 от эталона

$$x := x_1, x_1 + 0.5 .. Y_{1,3}$$



### 2. Нормировка второго признака (одностороннее ограничение)

Значение признака в точке 0.33:

$$K_1 := Y_{2,2}$$

$$K_1 = 1 \times 10^3$$

Значение признака в точке 0.95:

$$K_2 := Y_{2,3}$$

$$K_2 = 1.45 \times 10^3$$

$$b_{2,2} := \frac{\ln(|\ln(0.95)|) - \ln(|\ln(0.33)|)}{K_2 - K_1}$$

$$b_{2,1} := \ln(|\ln(0.33)|) - b_{2,2} \cdot K_1$$

$$b = \begin{pmatrix} 3.859 & -0.341 \\ 6.933 & -0.007 \end{pmatrix}$$

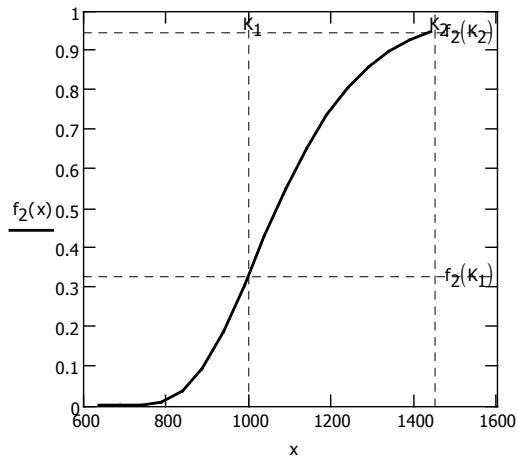
### Нормировочная функция для второго признака

$$f_2(y) := e^{-e^{b_{2,1} + b_{2,2} \cdot y}}$$

$$x_1 := 0.8 \cdot Y_{2,1}$$

Начальная точка графика

$$x := x_1, x_1 + 50 .. Y_{2,3}$$



### 3. Нормировка третьего признака (двустороннее ограничение) по формуле (9.37)

Значение признака в точке 0.33:

$$Y1lim := Y_{3, 2}$$

$$Y1min := Y_{3, 1}$$

$$Y1max := Y_{3, 3} + (Y_{3, 3} - Y_{3, 1})$$

$$N := \left\lceil \ln \left[ \frac{\ln \left( \frac{1}{0.33} \right)}{\ln \left[ \frac{2 \cdot Y1lim - (Y1max + Y1min)}{Y1max - Y1min} \right]} \right] \right\rceil$$

$$N = 1.908$$

#### Нормировочная функция для третьего признака

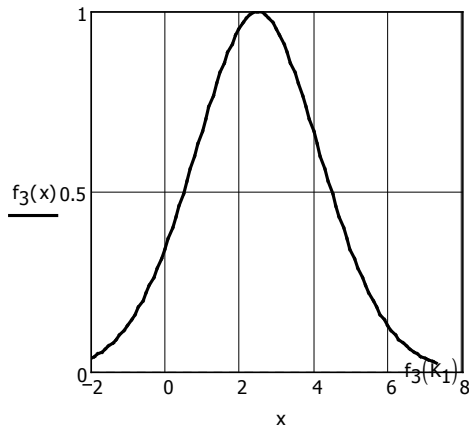
$$f_3(y) := e^{- \left[ \left| \frac{2 \cdot y - (Y1max + Y1min)}{Y1max - Y1min} \right| \right]^N}$$

Начальная точка графика

$$x1 := -2$$

$$x := x1, x1 + 0.1 .. 1.5 \cdot Y1max$$





**4. Нормировка третьего признака (двустороннее ограничение) по формуле (9.40)**

$$Y_p := Y_{3,3} + (Y_{3,3} - Y_{3,1})$$

$$Y_p = 4.9$$

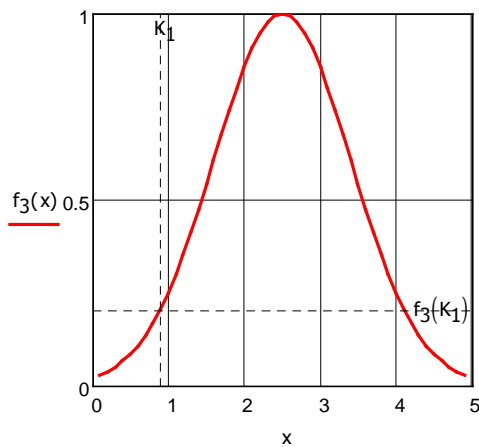
**Нормировочная функция для третьего признака**

$$f_3(y) := e^{-\left[\frac{(y - Y_{3,3})^2}{2 \cdot (Y_{3,2})^2}\right]}$$

$x_1 := Y_{3,1}$  Начальная точка графика

$K_1 := Y_{3,2}$

$x := x_1, x_1 + 0.1 \dots Y_p$



**5. Значения частных функций желательности по каждому признаку для всех исследуемых объектов**

$i := 1 \dots \text{rows}(T)$

$j := 1 \dots \text{cols}(T)$

Первый признак

$$d_{i,1} := f_1(T_{i,1})$$

Второй признак

$$d_{i,2} := f_2(T_{i,2})$$

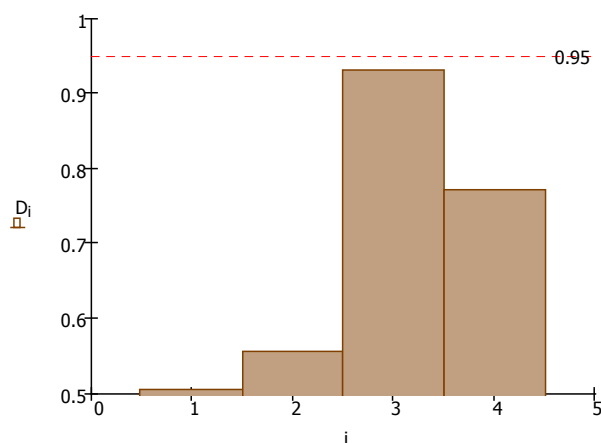
Третий признак

$$d_{i,3} := f_3(T_{i,3})$$

$$d = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Признаки} \\ \hline 0.21 & 0.754 & 0.766 \\ 0.455 & 0.582 & 0.63 \\ 0.903 & 0.867 & 1 \\ 0.818 & 0.549 & 0.931 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Объекты} \\ \hline \end{matrix} \end{matrix}$$

### 6. Вычисление обобщенного критерия качества

$$D_i := \left[ \prod_j (d_{i,j})^{\delta_j} \right]^{\frac{1}{\sum_j \delta_j}} \quad D = \begin{pmatrix} 0.505 \\ 0.556 \\ 0.931 \\ 0.772 \end{pmatrix}$$



Из диаграммы видно, что наиболее удовлетворяет выдвинутым требованиям качества третий образец продукции с комплексным показателем  $D_3 = 0.931$

### 8.3.5. Расчет обобщенного критерия качества с помощью табличного процессора MS Excel

В качестве рабочего примера будем использовать оценку качества продукции в производстве цемента и бетона.

Вырабатываемая продукция характеризуется несколькими показателями качества. Применительно к производству строительных

материалов, в частности цементов и бетонов, выделим следующие:

- количество добавки;
- модуль Юнга;
- прочность при изгибе;
- модуль Вейбула.

Функция желательности позволяет преобразовать набор качественных параметров продукции, каждый из которых имеет свои собственные единицы измерения и величины, в один безразмерный универсальный комплексный показатель, позволяющий оценить качество продукции как совокупность всех ее характеристик.

Представление материалов и выполнение расчетных операций в среде Excel имеет ярко выраженную специфику. Из-за сложности многоярусной структуры модели ячейки, которая может содержать в памяти скрытые изображения, формат, формулы, имена и комментарии, информацию о программном продукте приходится «подавать» послойно – сначала изображения, а потом отдельно формулы, содержащиеся в этих же ячейках.

Ячейки рис. 8.6 формул не содержат, поэтому их интерпретация сложностей не вызывает. А вот рис. 8.7 требует пояснений, поскольку в ячейках этого рисунка содержатся только результаты расчетов, значения параметров, рассчитанных по соответствующим формулам, а самих формул нет. Чтобы оказать методическую и программную помощь при выполнении курсовых работ, в настоящем пособии приводятся копии экрана фрагментов листа рабочей книги с одними и теми же ячейками сначала с результатами, но без формул (рис. 8.7, 8.9, 8.11), а затем с формулами, но без результатов (рис. 8.8, 8.10 и 8.12).

|    | A | B  | C                      | D                | E                     | F              | G  | H                      | I            | J            | K            |
|----|---|--|------------------------|------------------|-----------------------|----------------|----|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1  |   |  |                        |                  |                       |                |    |                        |              |              |              |
| 2  |   | Исходные данные по образцам  |                        |                  |                       |                |    | Функция желательности  |              |              |              |
| 3  |   |  |                        |                  |                       |                |    | Уровни качества        |              |              |              |
| 4  |   | № образца  | Кол-во добавки, мас. % | Модуль Юнга, ГПа | Пр. прочн. при изгибе | Модуль Вейбула |    | Признак                | Уровень 0,05 | Уровень 0,33 | Уровень 0,95 |
| 5  |   |  | 1                      | 2                | 3                     | 4              |    |                        |              |              |              |
| 6  |   |  | Образец 1              | 10               | 436                   | 395            | 6  | Кол-во добавки, мас. % | 3            | 9            | 22           |
| 7  |   |  | Образец 2              | 15               | 425                   | 400            | 7  | Модуль Юнга, ГПа       | 300          | 370          | 440          |
| 8  |   |  | Образец 3              | 12               | 418                   | 445            | 10 | Пр. прочн. при изгибе  | 310          | 370          | 465          |
| 9  |   |  | Образец 4              | 10               | 436                   | 430            | 6  | Модуль Вейбула         | 2            | 7            | 25           |
| 10 |   |  | Образец 5              | 15               | 426                   | 440            | 7  |                        |              |              |              |
| 11 |   | Образец 6  | 20                     | 421              | 445                   | 10             |    |                        |              |              |              |
| 12 |   |  |                        |                  |                       |                |    | Статистический вес     |              |              |              |
| 13 |   |  |                        |                  |                       |                |    | Кол-во добавки, мас. % | 0,85         |              |              |
| 14 |   | При расчетах комплексного показателя будем учитывать что признаки 1 и 2 имеют одностороннее ограничение нормировочной кривой, признаки 2 и 3 двустороннее. |                        |                  |                       |                |    | Модуль Юнга, ГПа       | 0,85         |              |              |
| 15 |   |  |                        |                  |                       |                |    | Пр. прочн. при изгибе  | 0,85         |              |              |
| 16 |   |  |                        |                  |                       |                |    | Модуль Вейбула         | 0,85         |              |              |
| 17 |   |  |                        |                  |                       |                |    |                        |              |              |              |

Рис. 8.6. Исходные данные

|    | A | B   | C                      | D | E   | F         | G                | H |
|----|---|---|------------------------|---|---|-----------|------------------|---|
| 18 |   | Расчет комплексного показателя для 1 и 2 признака (одностороннее ограничение) |                        |   | Расчет комплексного показателя для признака 1 и 2 по формуле    |           |                  |   |
| 19 |   | Рассчитаем коэффициенты нормировочной кривой по формуле                       |                        |   | Рассчитаем комплексные кофазатели для признака 1 и 2 по формуле |           |                  |   |
| 21 |   | $b_1 = \frac{\ln( \ln(0.95) ) - \ln( \ln(0.33) )}{K_2 - K_1}$                 |                        |   | $d_{ij} = e^{-e^{(\delta_0 + \delta_1 \cdot x_{ij})}}$          |           |                  |   |
| 22 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 23 |   | $b_0 = \ln( \ln(0.33) ) - b_1 \cdot K_1$                                      |                        |   |   |           |                  |   |
| 24 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 25 |   | Кол-во добавки, мас. %  |                        |   | Модуль Юнга, ГПа  |           |                  |   |
| 26 |   | K <sub>1</sub> = 3  |                        |   | K <sub>1</sub> = 300  |           |                  |   |
| 27 |   | K <sub>2</sub> = 300  |                        |   | K <sub>2</sub> = 370  |           |                  |   |
| 28 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 29 |   | b <sub>1</sub> = -0,01035   |                        |   | b <sub>1</sub> = -0,0439  |           |                  |   |
| 30 |   | b <sub>0</sub> = 0,134198   |                        |   | b <sub>0</sub> = 13,27465                                       |           |                  |   |
| 31 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 32 |   |   | Кол-во добавки, мас. % |   |   | № образца | Модуль Юнга, ГПа |   |
| 33 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 34 |   | № образца   |                        |   |   |           |                  |   |
| 35 |   |   | 1                      |   |   |           | 1                |   |
| 36 |   | Образец 1   | 0,3566                 |   |   | Образец 1 | 0,9972           |   |
| 37 |   | Образец 2   | 0,3756                 |   |   | Образец 2 | 0,9954           |   |
| 38 |   | Образец 3   | 0,3642                 |   |   | Образец 3 | 0,9938           |   |
| 39 |   | Образец 4   | 0,3566                 |   |   | Образец 4 | 0,9972           |   |
| 40 |   | Образец 5   | 0,3756                 |   |   | Образец 5 | 0,9956           |   |
| 41 |   | Образец 6   | 0,3946                 |   |   | Образец 6 | 0,9945           |   |
| 42 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |
| 43 |   |   |                        |   |   |           |                  |   |

Рис. 8.7. Результаты расчетов частных функций желательности по кривой с односторонними ограничениями

Следует обратить внимание на удачность вставки в документ Excel формул из Microsoft Word в среде Equation.

|    | A    | B   | C                               | D | E   | F                |  |
|----|------|---|---------------------------------|---|---|------------------|--|
| 18 |      | Расчет комплексного показателя для 1 и 2 признака (одностороннее ограничение) |                                 |   | Расчет комплексного показателя для признака 1 и 2 по формуле    |                  |  |
| 19 |      | Рассчитаем коэффициенты нормировочной кривой по формуле                       |                                 |   | Рассчитаем комплексные кофазатели для признака 1 и 2 по формуле |                  |  |
| 21 |      | $b_1 = \frac{\ln( \ln(0.95) ) - \ln( \ln(0.33) )}{K_2 - K_1}$                 |                                 |   | $d_{ij} = e^{-e^{(\delta_0 + \delta_1 \cdot x_{ij})}}$          |                  |  |
| 22 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 23 |      | $b_0 = \ln( \ln(0.33) ) - b_1 \cdot K_1$                                      |                                 |   |   |                  |  |
| 24 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 25 | =G7  |   |                                 |   | =G8   |                  |  |
| 26 |      | K <sub>1</sub> =  | =H7                             |   |   | K <sub>1</sub> = | =H8  |
| 27 |      | K <sub>2</sub> =  | =H8                             |   |   | K <sub>2</sub> = | =I8  |
| 28 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 29 |      | b <sub>1</sub> =  | =LN(ABS(LN(0,95)))-LN(ABS       |   |   | b <sub>1</sub> = | =LN(ABS(LN(0,95)))-LN(ABS(LN(0,33)))/(F27-F26) |
| 30 |      | b <sub>0</sub> =  | =LN(ABS(LN(0,33)))-B29*B26      |   |   | b <sub>0</sub> = | =LN(ABS(LN(0,33)))-F29*F26                     |
| 31 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 32 |      |   | Кол-во добавки, мас. %          |   |   |                  | Модуль Юнга, ГПа                               |
| 33 |      | № образца   |                                 |   |   | № образца        |  |
| 34 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 35 |      |   | 1                               |   |   |                  | 1  |
| 36 | =A7  |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B7))  |   | =A7   |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C7))                 |
| 37 | =A8  |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B8))  |   | =A8   |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C8))                 |
| 38 | =A9  |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B9))  |   | =A9   |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C9))                 |
| 39 | =A10 |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B10)) |   | =A10  |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C10))                |
| 40 | =A11 |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B11)) |   | =A11  |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C11))                |
| 41 | =A12 |   | =EXP(-EXP(\$B\$30+\$B\$29*B12)) |   | =A12  |                  | =EXP(-EXP(\$F\$30+\$F\$29*C12))                |
| 42 |      |   |                                 |   |   |                  |  |
| 43 |      |   |                                 |   |   |                  |  |

Рис. 8.8. Формулы для расчетов частных функций желательности по кривой с односторонними ограничениями

|    | A | B   | C                      | D                | E                     | F              | G | H | I |
|----|---|---|------------------------|------------------|-----------------------|----------------|---|---|---|
| 43 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 44 |   | Расчет комплексного показателя для 3 и 4 признака (двустороннее ограничение)    |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 45 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 46 |   | Кoeffициент $N_K$   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 47 |   | Пр. прочн. при изгибе   |                        | 0,0580           |                       |                |   |   |   |
| 48 |   | Модуль Вейбула  |                        | 0,1549           |                       |                |   |   |   |
| 49 |   | Крайняя правая точка для признаков  |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 50 |   | $Y_{\text{прз}}$  | 620                    |                  |                       |                |   |   |   |
| 51 |   | $Y_{\text{пр*}}$  | 48                     |                  |                       |                |   |   |   |
| 52 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 53 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 54 |   | № обр.  | Пр. прочн. при изгибе  | Модуль Вейбула   |                       |                |   |   |   |
| 55 |   |   | $Y_c$                  | $d$              | $Y_c$                 | $d$            |   |   |   |
| 56 |   | 1   | 0,4516                 | 0,9741           | 0,8261                | 0,8799         |   |   |   |
| 57 |   | 2   | 0,4194                 | 0,9760           | 0,7826                | 0,8858         |   |   |   |
| 58 |   | 3   | 0,1290                 | 0,9925           | 0,6522                | 0,9039         |   |   |   |
| 59 |   | 4   | 0,2258                 | 0,9870           | 0,8261                | 0,8799         |   |   |   |
| 60 |   | 5   | 0,1613                 | 0,9907           | 0,7826                | 0,8858         |   |   |   |
| 61 |   | 6   | 0,1290                 | 0,9925           | 0,6522                | 0,9039         |   |   |   |
| 62 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 63 |   | Таблица комплексных показателей для каждого из образцов по каждому из признаков |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 64 |   | № образца   | Кол-во добавки, мас. % | Модуль Юнга, ГПа | Пр. прочн. при изгибе | Модуль Вейбула |   |   |   |
| 65 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 66 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |
| 67 |   | Образец 1   | 0,3566                 | 0,9972           | 0,9741                | 0,8799         |   |   |   |
| 68 |   | 2   | 0,3756                 | 0,9954           | 0,9760                | 0,8858         |   |   |   |
| 69 |   | 3   | 0,3642                 | 0,9938           | 0,9925                | 0,9039         |   |   |   |
| 70 |   | 4   | 0,3566                 | 0,9972           | 0,9870                | 0,8799         |   |   |   |
| 71 |   | 5   | 0,3756                 | 0,9956           | 0,9907                | 0,8858         |   |   |   |
| 72 |   | 6   | 0,3946                 | 0,9945           | 0,9925                | 0,9039         |   |   |   |
| 73 |   |   |                        |                  |                       |                |   |   |   |

$$d_{ij} = e^{-\left(\frac{Y_{ij}'}{Y_0}\right)^N}$$

$$N = \ln \left( \frac{\ln \left( \frac{1}{0,33} \right)}{\ln(Y_0)} \right)$$

$$\left| \frac{Y_{ij}'}{Y_0} \right| = \frac{2 \cdot Y_{ij} - (Y_{2j} + Y_{1j})}{Y_{2j} - Y_{1j}}$$

$$D_i = \left( \prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{1/\sum_{j=1}^p \delta_j}$$

Формула для расчета комплексного показателя

Рис. 8.9. Результаты расчетов частных функций желательности по кривой с двусторонними ограничениями

|    | A | B  | C   | D   | E   |                         |
|----|---|--|---|---|---|-------------------------|
| 44 |   | Расчет комплексного показателя для 3 и 4 признака (двустороннее ограничение) |   |   |   |                         |
| 45 |   |  |   |   |   |                         |
| 46 |   | Кoeffиц  |   | $d_{ij} = e^{-\left(\frac{Y_{ij}'}{Y_0}\right)^N}$  |   |                         |
| 47 |   | =G9  | =ABS(LN(LN(1/0,33)))/LN(LN(10))                 | $N = \ln \left( \frac{\ln \left( \frac{1}{0,33} \right)}{\ln(Y_0)} \right)$                       |   |                         |
| 48 |   | =G16   | =ABS(LN(LN(1/0,33)))/LN(LN(110))                |   |   |                         |
| 49 |   | Крайн  |   |   |   |                         |
| 50 |   | $Y_{\text{прз}}$   | =J9+(J9-H9)                                     |   |   |                         |
| 51 |   | $Y_{\text{пр*}}$   | =J10+(J10-H10)                                  |   |   |                         |
| 52 |   |  |   | $\left  \frac{Y_{ij}'}{Y_0} \right  = \frac{2 \cdot Y_{ij} - (Y_{2j} + Y_{1j})}{Y_{2j} - Y_{1j}}$ |   |                         |
| 53 |   |  |   |   |   |                         |
| 54 |   | № обр  | =A47  | =A48  |   |                         |
| 55 |   | $Y_c$  | $d$   | $Y_c$   | $d$   |                         |
| 56 |   | 1  | =ABS(2*\$D7-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9)  | =EXP(-ABS(B56))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E7-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10)  | =EXP(-ABS(D56))*\$C\$48 |
| 57 |   | 2  | =ABS(2*\$D8-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9)  | =EXP(-ABS(B57))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E8-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10)  | =EXP(-ABS(D57))*\$C\$48 |
| 58 |   | 3  | =ABS(2*\$D9-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9)  | =EXP(-ABS(B58))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E9-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10)  | =EXP(-ABS(D58))*\$C\$48 |
| 59 |   | 4  | =ABS(2*\$D10-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9) | =EXP(-ABS(B59))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E10-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10) | =EXP(-ABS(D59))*\$C\$48 |
| 60 |   | 5  | =ABS(2*\$D11-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9) | =EXP(-ABS(B60))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E11-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10) | =EXP(-ABS(D60))*\$C\$48 |
| 61 |   | 6  | =ABS(2*\$D12-(\$B\$51+\$H\$9))/(\$B\$51-\$H\$9) | =EXP(-ABS(B61))*\$C\$47   | =ABS(2*\$E12-(\$B\$52+\$H\$10))/(\$B\$52-\$H\$10) | =EXP(-ABS(D61))*\$C\$48 |

Рис. 8.10. Формулы для расчетов частных функций желательности по кривой с двусторонними ограничениями

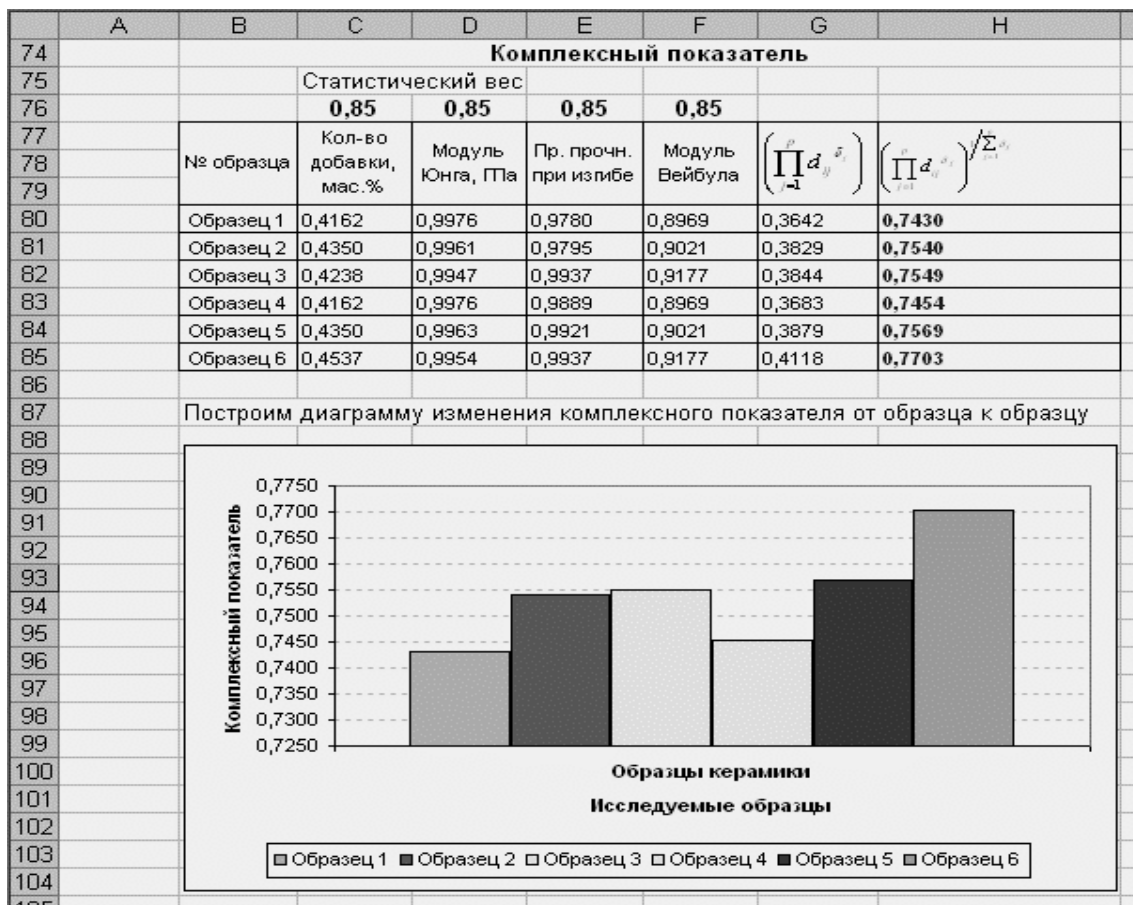


Рис. 8.11. Результаты расчета комплексного показателя качества

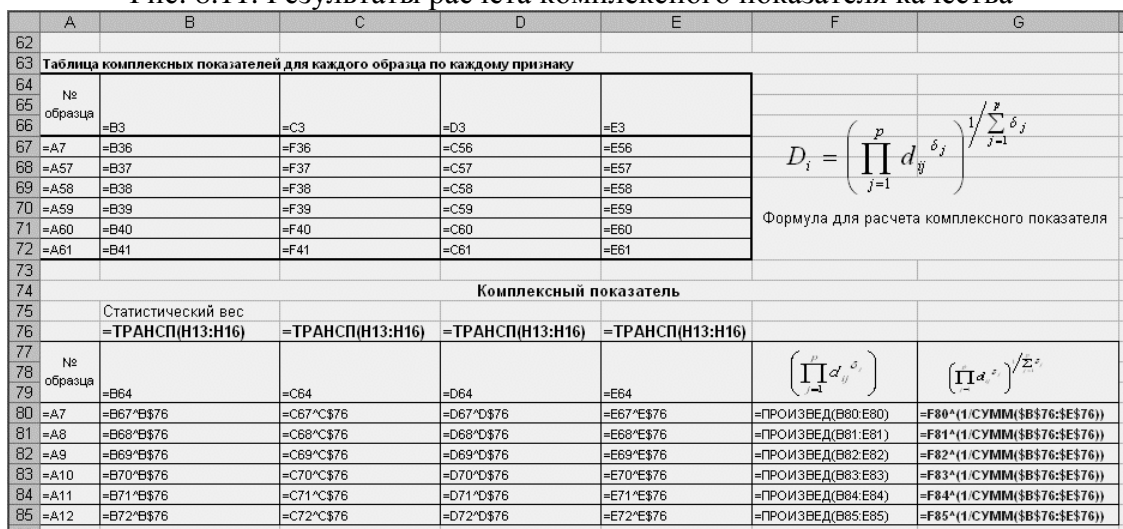


Рис. 8.12. Формулы для расчета комплексного показателя качества

Может быть, имело смысл сначала поместить рисунки с ячейками, содержащими формулы, а потом результаты, полученные по этим формулам, но мы посчитали для восприятия более полезным

предложить увидеть, что именно надо получить, а потом уже как это сделать.

## **9. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### **9.1. Построение информационных сетей**

#### **9.1.1. Практические рекомендации**

##### **О выборе информационной сети**

Необходимое число опытов в узлах информационной сети определяется по формуле

$$N = S^n, \quad (9.1)$$

а количество факторов, которое можно описать этим количеством опытов, находится из выражения

$$F = (S^n - 1)/(S - 1), \quad (9.2)$$

где  $S$  – число уровней варьирования;  $n$  – число вершин фундаментального симплекса.

Но эти выражения справедливы только для главных эффектов и не учитывают парные произведения.

В качестве примера в табл. 9.1 приведены результаты расчета количества опытов в информационной сети для получения десятифакторной модели главных эффектов, в которой каждый фактор варьируется на десяти уровнях.

Таблица 9.1

**Число опытов для получения моделей без парных произведений**

| Число факторов | Уровни варьирования |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|----------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|--|
|                | 2                   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  |  |
| 2              | 4                   | 9  | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 3              | 4                   | 9  | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 4              | 8                   | 9  | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 5              | 8                   | 16 | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 6              | 8                   | 25 | 25 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 7              | 8                   | 27 | 36 | 36 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |
| 8              | 16                  | 27 | 49 | 49 | 49 | 49 | 64 | 81 | 100 |  |

При формировании информационной сети следует иметь в виду, что число коэффициентов полиномиальных моделей не может быть больше числа опытов. Если факторы варьируются на двух уровнях и число опытов совпадает с числом факторов плюс единица, то можно получить модель не выше первого порядка. Если факторы варьируются на двух уровнях, а число опытов значительно больше числа факторов, то можно получить модель неполного второго порядка с парными произведениями взаимодействующих факторов. Трехуровневое варьирование факторов позволяет получить нелинейную квадратичную модель. Варьирование факторов на четырех уровнях дает возможность аппроксимировать табличные данные полиномом третьей степени и т. д.

После выполнения достаточно простой процедуры замены элементов поля Галуа натуральными значениями выбранных факторов ортогональная таблица превращается в информационную сеть, а после выполнения измерений анализируемого показателя в соответствии с условиями каждой строки получаем таблично заданную функцию, которая позволяет получить математическое описание химико-технологического процесса.

Для облегчения выбора информационной сети табл. 9.1 можно преобразовать в табл. 9.2 путем выделения ячеек с одинаковыми значениями, что позволит выбрать лучший вариант из допустимых.



**Области с одинаковыми значениями  
числа опытов (N) для моделей главных эффектов**

| Число факторов | Уровни варьирования |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
|----------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
|                | 2                   | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |  |
| 2              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 3              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 4              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 5              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 6              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 7              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 8              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 9              |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 10             |                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |

В табл. 9.1–9.2 приведены условия получения моделей главных эффектов, которые не учитывают влияния взаимодействующих факторов.

Включение в модель парных произведений позволяет описать перемещение кривых по оси абсцисс. Без парных произведений при изменении второго аргумента кривые будут перемещаться по оси ординат параллельно самим себе (рис. 9.1).

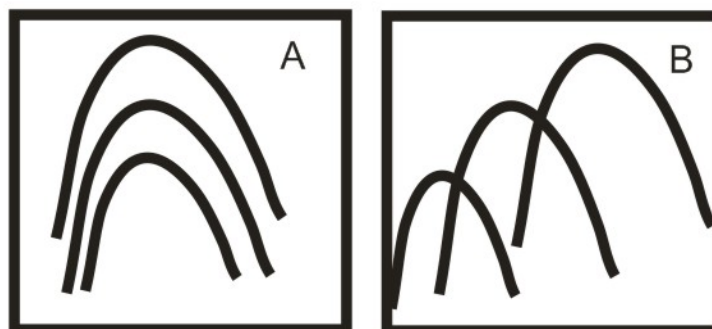


Рис. 9.1. Графики зависимостей, полученных по модели главных эффектов (А) и модели с парными произведениями (В)

Чтобы получить модель с парными произведениями, значения в каждой ячейке табл. 9.3 по условиям табл. 9.1 нужно увеличить на величину  $F(F - 1)/2$ .

Таблица 9.3

**Число опытов для получения моделей с парными произведениями**

| Число факторов | Уровни варьирования |    |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------|---------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                | 2                   | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |  |
| 2              | 5                   | 10 | 17  | 26  | 37  | 50  | 65  | 82  | 101 |  |
| 3              | 7                   | 12 | 19  | 28  | 39  | 52  | 67  | 84  | 103 |  |
| 4              | 14                  | 15 | 22  | 31  | 42  | 55  | 70  | 87  | 106 |  |
| 5              | 18                  | 26 | 26  | 35  | 46  | 59  | 74  | 91  | 110 |  |
| 6              | 23                  | 40 | 40  | 40  | 51  | 64  | 79  | 96  | 115 |  |
| 7              | 29                  | 48 | 57  | 57  | 57  | 70  | 85  | 102 | 121 |  |
| 8              | 44                  | 55 | 77  | 77  | 77  | 77  | 92  | 109 | 128 |  |
| 9              | 52                  | 63 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 117 | 136 |  |
| 10             | 61                  | 72 | 109 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 | 145 |  |

При анализе табл. 9.2 и 9.4 оказывается, что одним и тем же количеством опытов можно описать разное число факторов на одном уровне варьирования либо одинаковое число факторов на разных уровнях варьирования. В случае жестко заданного числа факторов выбирают такие параметры информационной сети, которые для заданного числа факторов имеют максимальное значение числа уровней варьирования (при равном числе опытов). Если нужно получить модель с парными произведениями, то по табл. 9.1 определяют нужное число опытов, но параметры ортогональной таблицы определяют по табл. 9.4, обращая внимание на то, чтобы  $N$  было не меньше  $N1$ .

Таблица 9.4

**Области с одинаковыми значениями числа опытов при проведении эксперимента по методу проективных геометрий и полей Галуа с учетом парных произведений взаимодействующих факторов ( $N1$ )**

| Количество факторов | Число уровней варьирования факторов |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
|                     | 2                                   | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |  |
| 2                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 3                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 4                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 5                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 6                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 7                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 8                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 9                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| 10                  |                                     |   |   |   |   |   |   |   |    |  |

## 9.1.2. Построение информационной сети в среде Excel на языке VBA

Пример построения сети иллюстрируется листингом 9.1.

### Листинг 9.1. Программа построения информационной сети

#### Применяемые процедуры и функции VBA

##### Запуск окна ввода исходных данных

```
Sub Start()  
    UserForm1.Show 1  
    NF = UserForm1.n  
    SV = UserForm1.s  
    F = UserForm1.Factors  
    Nopt = UserForm1.Nopt  
End Sub
```

##### Сложение двух чисел по модулю S - количество уровней варьирования

```
Function SumN(a As Integer, b As Integer, M As Integer, ByRef s  
As Integer, ByRef p As Integer)  
    s = a + b  
    p = 0  
    If s >= M Then  
        p = Int(s / M)  
        s = s - M  
    End If  
End Function  
Здесь переменные s и p возвращают сумму a и b, а p - перенос в  
старший разряд
```

##### Умножение по модулю N без переноса в старший разряд

```
Function MultN(a As Integer, b As Integer, M As Integer) As  
Integer  
    s = a * b  
    If s >= M Then  
        p = Int(s / M)  
        s = s - M  
    End If  
    MultN = s  
End Function
```

#### Вывод построенной информационной сети

##### Вычисление количества факторов и количество необходимых опытов.

```
n = Val(TextBox1.Text)  
s = Val(TextBox2.Text)  
F = (s ^ n - 1) / (s - 1)  
Nopt = s ^ n  
Factors = F
```

##### Составление групп координат вершин связей плоскостей на бесконечности

```
For i = 1 To n  
    V(1, i) = 0 'обнуление первой строки таблицы  
Next  
V(1, n) = 1 'начальное значение младшего разряда  
p = n 'значение номера первого ненулевого разряда
```

```

k = 2
Vp(1) = 1 'первая вершина фундаментального симплекса
For i = 2 To F
  For j = 1 To n
    V(i, j) = V(i - 1, j) 'копия пред. строки
  Next

  SumN V(i - 1, n), 1, s, x, y 'прибавление 1 по модулю s
  V(i, n) = x
  j = n - 1
  While y > 0 And j >= 0 'перенос в старший разряд если сумма
>s
    SumN V(i, j), y, s, x, y
    V(i, j) = x
    j = j - 1
  Wend
  'проверка если первая ненулевая координата > 1
  'тогда осуществляем перенос в старший разряд по модулю 2
  If V(i, p) > 1 Then
    V(i, p) = 0
    j = p - 1
    y = 1
    Vp(k) = i 'запоминаем номер вершины фундаментального
симплекса
    k = k + 1
    While y > 0 And j >= 0
      SumN V(i, j), y, s, x, y
      V(i, j) = x
      p = j
      j = j - 1
    Wend
  End If
Next

```

#### Процедура построения ортогональной таблицы

```

'сортируем вершины фонд. симплекса в порядке убывания
For i = 1 To n
  For j = 1 To n
    T = V(i, j)
    V(i, j) = V(Vp(i), j)
    V(Vp(i), j) = T
  Next j
Next i
Dim Vt() As Integer
ReDim Vt(1 To n, 1 To n)
For i = n To 1 Step -1
  For j = 1 To n
    Vt((n + 1) - i, j) = V(i, j)
  Next j
Next i
For i = 1 To n
  For j = 1 To n
    V(i, j) = Vt(i, j)
  Next j
Next i

Dim st As String
'заполнение таблицы
Dim Info() As Integer
ReDim Info(1 To Nopt, 1 To F)

```

```

For i = 1 To n
    Info(1, i) = 0 ' заполняем первую строку 0
Next
'заполнение первых n-столбцов таблицы
For i = 2 To Nopt
    SumN Info(i - 1, n), 1, s, x, y
    Info(i, n) = x
    For j = n - 1 To 1 Step -1
        SumN Info(i - 1, j), y, s, Sum, y
        Info(i, j) = Sum
    Next j
Next i
Dim mult As Integer
For i = 1 To Nopt
    For j = n + 1 To F
        Sum = 0
        For k = 1 To n
            mult = MultN(Info(i, k), V(j, k), s)
            SumN mult, Sum, s, Sum, p
        Next
        Info(i, j) = Sum
    Next j
Next i

'Вывод результата
Dim ws As Worksheet
Set ws = ActiveWorkbook.Worksheets(Worksheets.Count)
ws.Activate
Set Me.OutWorkSheet = ws
For i = 1 To Nopt
    ActiveSheet.Cells(i + 1, 1) = i
Next
'Вывод линейно-независимых векторов
For i = 1 To F
    st = ""
    For j = 1 To n
        st = st + Str(V(i, j))
        If j < n Then st = st + " "
    Next
    ActiveSheet.Cells(1, i + 1) = st
    ActiveSheet.Cells(1, i + 1).Font.Bold = True
Next
'Вывод ортогональной таблицы
For i = 1 To Nopt
    For j = 1 To F
        ActiveSheet.Cells(i + 1, j + 1) = Info(i, j)
        ActiveSheet.Cells(1, i + 1).Font.Name = "Tahoma"
        ActiveSheet.Cells(1, i + 1).Font.Bold = False
        ActiveSheet.Cells(1, i + 1).Font.Size = 9
    Next j
Next i
Hide
End Sub

```

### Процедура построения информационной сети

```

Sub ИнформационнаяСеть()
    Dim R As Range
    Set R = Application.InputBox("Укажите диапазон со значениями факторов по уровням варьирования", _
        , , , , , 8)

```

```

    If SV <> R.Rows.Count Then
        MsgBox "Неверно указано количество уровней варьирования,
должно быть " & SV, vbCritical
        Exit Sub
    End If
    MsgBox "Вы выбрали " & R.Columns.Count & " факторов и " &
R.Rows.Count & " уровней варьирования"
    Dim SF() As Single
    F = R.Columns.Count
    ReDim SF(1 To R.Rows.Count, 1 To R.Columns.Count)
    For i = 1 To R.Rows.Count
        For j = 1 To R.Columns.Count
            SF(i, j) = R(i, j)
        Next j
    Next i
    UserForm1.OutWorkSheet.Activate

    Dim Info() As Single
    ReDim Info(1 To Nopt, 1 To F)

    For i = 1 To R.Columns.Count
        Set R = Application.InputBox("Укажите столбец для фактора
№ " & i, , , , , , , 8)
        R.Font.Bold = True
        R.Font.Color = RGB(200, 0, 0)
        For j = 1 To Nopt
            Info(j, i) = R(j, 1)
        Next j
    Next i

    For i = 1 To Nopt
        For j = 1 To F
            Info(i, j) = SF(Info(i, j) + 1, j)
        Next j
    Next i

    'Вывод результат
    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ActiveWorkbook.Sheets.Add(Before:=Worksheets(Worksheets.Count))
    ws.Activate

    With ActiveSheet
        .Cells(1, 1) = "Информационная сеть"
        For i = 1 To Nopt
            .Cells(i + 1, 1) = i
            .Cells(i + 1, 1).Font.Bold = True
            For j = 1 To F
                .Cells(i + 1, j + 1) = Info(i, j)
            Next j
        Next i
    End With

End Sub

Function SumN(a As Integer, b As Integer, M As Integer, ByRef s
As Integer, ByRef p As Integer)
    s = a + b
    p = 0
    If s >= M Then
        p = Int(s / M)
    End If
End Function

```

```

    s = s - M
End If
End Function

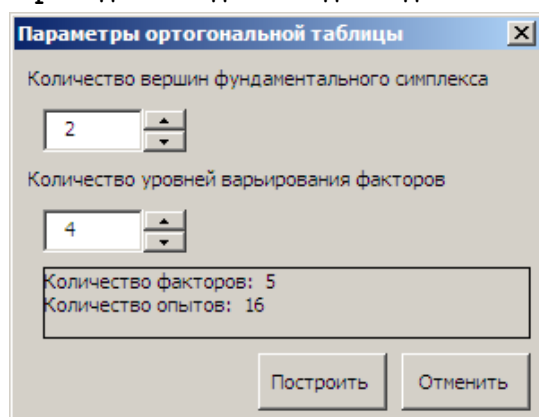
```

```

Function MultN(a As Integer, b As Integer, M As Integer) As Integer
s = a * b
If s >= M Then
    p = Int(s / M)
    s = s - M
End If
MultN = s
End Function

```

Форма для ввода исходных данных



## 9.2. Получение и визуализация полиномиальных моделей

### 9.2.1. Методология получения полиномиальных моделей

Особенностью современных процессов химической технологии, протекающих с высокими скоростями при высоких температурах и давлениях в многофазных системах, является их большая сложность.

Эта сложность выражается в значительном числе и многообразии параметров, определяющих течение процессов, в большем числе внутренних связей между параметрами, в их взаимном влиянии, причем изменение одного параметра вызывает нелинейное изменение других параметров. Кроме того, на процесс накладываются возмущения, статистически распределенные во времени.

В широком смысле под моделированием понимают метод исследования, при котором вместо непосредственно интересующего нас процесса или явления, протекающего в каком-то объекте (натуре), изучается соответствующий процесс на другом объекте (модели).

Следует отметить, что в литературе под термином «модель» не всегда понимают материальную модель, на которой проводятся

исследования. Часто моделью считают некоторую познавательную физическую или математическую модель, т. е. схему, с той или иной степенью точности отражающую наиболее существенные стороны изучаемого процесса. Такие модели кладут в основу исследования данного процесса или явления. На основе принятой идеальной физической модели составляют соответствующую ей математическую модель, т. е. математическое описание процесса.

Если все выходные параметры изучаемой системы обозначить через  $Y$ , а все входные соответственно через  $X, Z, U$ , то процесс моделирования сводится к установлению вида математической зависимости между выходными и входными параметрами системы:

$$Y = F(X, Z, U). \quad (9.3)$$

Вид этой функции определяется природой изучаемой системы.

Для детерминированных систем (обычно малых) вид указанной зависимости чаще всего сводится к дифференциальным уравнениям, а для стохастических – к статистико-вероятностным.

Принято различать два вида моделирования: физическое и математическое.

**Физическое моделирование** производится непосредственно на самом объекте, где протекает физический процесс. Этот подход требует воспроизведения процесса во все больших масштабах (вплоть до заводских) и весьма сложных систем, с какими приходится иметь дело в химической технологии.

Поэтому основным методом расчета сложных процессов химической технологии стал метод **математического моделирования**, реализующий расчеты на электронных вычислительных машинах и позволяющий отыскивать оптимальные режимы проведения процессов и условия управления ими.

Математическое моделирование обязательно включает три взаимосвязанные стадии:

- формализацию изучаемого процесса – построение математической модели (составление математического описания);
- программирование решения задачи (алгоритмизацию) для нахождения численных значений определяемых параметров;
- установление соответствия (адекватности) модели изучаемому процессу.

При построении математической модели реальное явление упрощается, схематизируется и полученная схема описывается в зависимости от сложности явлений с помощью того или иного



математического аппарата.

От удачного выбора модели, от того, насколько правильно она отражает характерные черты рассматриваемого процесса, зависит успех исследования и ценность полученных выводов.

В модели должны быть учтены все наиболее существенные факторы, влияющие на процесс, и вместе с тем она не должна быть загромождена множеством мелких, второстепенных факторов, учет которых только усложнит математический анализ и сделает исследования труднообозримыми.

Необходимо, чтобы модель достаточно верно описывала качественно и количественно свойства моделируемого процесса, т. е. она должна быть адекватна моделируемому процессу. Для проверки адекватности математической модели реальному процессу нужно сравнивать результаты измерений в ходе процесса с результатами предсказания модели в идентичных условиях (при определенных значениях параметров).

При математическом моделировании деформация модели процесса изучается не на физической модели, как при физическом моделировании, а непосредственно на самой математической модели при помощи электронных вычислительных машин. С пульта машины по определенной программе (алгоритму) задаются изменения параметров, входящих в математическое описание, которые могут воздействовать на процесс, а машина выдает получаемые при этом значения выходных параметров.

Методы математического моделирования в сочетании с современными вычислительными средствами позволяют с высокой точностью быстро исследовать различные варианты аппаратного оформления процесса, изучить его основные особенности и открыть резервы усовершенствования. При этом в рамках используемой модели всегда гарантируется отыскание оптимальных решений.

При математическом моделировании процесс исследуют, изменяя различные параметры, связанные в виде математической модели, на вычислительной машине. Это позволяет быстро получать сведения о различных вариантах изучаемого процесса. Важно отметить, что в относительно короткий срок можно воспроизвести оптимальные варианты модели, иными словами, осуществить оптимизацию математической модели и, следовательно, самого процесса. Математическое моделирование гораздо дешевле физического моделирования, независимо от того, выражена его стоимость в деньгах или во времени.

### 9.2.2. Постановка задачи и вычисление параметров

При эмпирическом (экспериментальном) изучении функциональной зависимости одной величины  $y$  от другой величины  $x$  производят ряд измерений величины  $y$  при различных значениях величины  $x$ . Результаты могут быть представлены в виде таблицы или графически.

Задача заключается в аналитическом представлении искомой функциональной зависимости, т. е. в подборе формулы, описывающей результаты эксперимента. Особенность задачи состоит в том, что наличие случайных ошибок измерения (или, как говорят, наличие «шума» в эксперименте) делает неразумным подбор такой формулы, которая точно описывала бы все опытные значения. Другими словами, график искомой функции не должен проходить через все точки, а должен по возможности сглаживать «шум». Конечно, сглаживание «шума» будет тем более точным и надежным, чем больше количество произведенных экспериментов, т. е. чем больше мы имеем избыточной информации. Например, для проведения прямой  $y = ax + b$  вполне достаточно двух точек  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ , если эти точки известны точно. Но при наличии более или менее значительного «шума» для той же цели может понадобиться несколько десятков точек. Эмпирическую формулу обычно выбирают из формул определенного типа, например,

$$y = ax + b, \quad y = ae^{bx} + c, \quad y = a + \sin(\omega x + \varphi). \quad (9.4)$$

Другими словами, задача сводится к определению параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , ... формулы, в то время как вид формулы известен заранее из каких-либо теоретических соображений или из соображений простоты аналитического представления эмпирического материала.

Обозначим выбранную функциональную зависимость через

$$y = f(x; a_0, a_1, \dots, a_n) \quad (9.5)$$

с явным указанием всех параметров, подлежащих определению. Эти параметры  $a_0, a_1, \dots, a_n$  нельзя определить точно по эмпирическим значениям функции  $y_1, y_2, \dots, y_m$ , так как последние содержат случайные ошибки. Речь идет только о получении «достаточно хороших» оценок искомых параметров. Метод наименьших квадратов позволяет получить несмещенные и состоятельные оценки всех параметров  $a_0, a_1, \dots, a_n$ . В наиболее часто встречающемся случае, когда эти параметры входят в формулу (9.5) линейно, оценки параметров, получаемые по методу наименьших квадратов, являются также и эффективными. При этом предполагается, что измерения значений функции  $y_1, y_2, \dots, y_m$  произведены независимо друг от друга и что ошибки измерения

подчиняются нормальному закону распределения вероятностей.

### 9.2.3. Метод наименьших квадратов

Если все измерения значений функции  $y_1, y_2, \dots, y_m$  произведены с одинаковой точностью, то оценки параметров  $a_0, a_1, \dots, a_n$  определяются из условия, чтобы сумма квадратов отклонений измеренных значений  $y_k$  от расчетных  $y = f(x; a_0, a_1, \dots, a_n)$ , т. е. величина

$$S = \sum_{k=1}^N [y_k; a_0, a_1, \dots, a_n]^2 \quad (9.6)$$

принимала наименьшее значение.

Если измерения произведены с различными дисперсиями, но известны отношения дисперсий различных измерений, то в указанном выше условии сумма (9.6) заменяется суммой

$$S = \sum_{k=1}^n [y_k - f(x_k; a_0, a_1, \dots, a_n)]^2 \omega_k, \quad (9.7)$$

где множители  $\omega_k$ , называемые весами измерений, обратно пропорциональны дисперсиям:

$$\omega_1 : \omega_2 : \dots : \omega_n = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \dots : \frac{1}{\sigma_n^2}. \quad (9.8)$$

Если все измерения значений функции производятся с одинаковой точностью, но при каждом изменении аргумента  $x_k$  производится серия  $m_k$  измерений, а в качестве  $y_k$  берется среднее арифметическое результатов измерений в серии, то весами измерений могут служить количества измерений в сериях  $\omega_k = m_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ).

Сформулированное выше условие сохраняется и для определения оценок параметров функций нескольких переменных. Например, для функции  $z$  от двух переменных  $x, y$  оценки параметров  $a_0, a_1, \dots, a_n$  определяются из условия обращения в минимум суммы

$$S = \sum_{k=1}^n [z_k - f(x_k, y_k; \dots, a_1, a_1, \dots, a_n)]^2 \omega_k. \quad (9.9)$$

Отыскание тех значений параметров  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , которые доставляют наименьшее значение функции  $S = S(a_0, a_1, \dots, a_n)$ , сводится к решению системы уравнений

$$\frac{\delta S}{\delta a_0} = 0; \quad \frac{\delta S}{\delta a_1} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\delta S}{\delta a_n} = 0. \quad (9.10)$$

Если в эмпирическую формулу (9.9) параметры входят линейно, то система уравнений (9.10) также будет линейной. Так как решение линейной системы значительно проще, чем нелинейной, следует по возможности преобразовать выбираемую эмпирическую формулу к такому виду, чтобы определяемые параметры входили в нее линейно.

#### 9.2.4. Выбор оптимальной степени многочлена

В тех случаях, когда в качестве эмпирической формулы используются многочлены, возникает задача выбора оптимальной его степени. Многочлен слишком низкой степени будет давать чрезмерно грубое описание эмпирического материала, а многочлен высокой степени (близкой к числу  $(n - 1)$ , где  $n$  – число экспериментальных точек) не будет сглаживать шум эксперимента, т. е. на его коэффициентах будет сильно сказываться ошибки, вызванные ошибками исходных данных. В частности, если степень многочлена равна  $(n - 1)$ , то многочлен точно описывает все данные точки и, значит, сохраняет весь шум.

Правило выбора оптимальной степени многочлена по результатам эксперимента основано на допущении, что искомая функциональная зависимость точно представима многочленом некоторой степени  $n_0$ :

$$y = \sum_{i=0}^{i_0} a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n, \quad (9.11)$$

и что измеренные значения функции  $y_k$  содержат только случайные ошибки  $\eta_k$ . Относительно ошибок  $\eta_k$  предполагается, что они независимы и следуют нормальному закону распределения с одной и той же дисперсией  $\sigma^2$  при равноточных измерениях или с дисперсией  $\sigma^2/\omega_k$  при неравноточных измерениях ( $\omega_k$  – известные веса измерений,  $k = 1, 2, \dots, n$ ).

#### 9.2.5. Проверка адекватности математических моделей

Модель признается адекватной в тех случаях, когда отношение двух дисперсий – дисперсии адекватности и дисперсии воспроизводимости – не превышает величины, определяемой критерием Фишера для заданного уровня значимости при соответствующих степенях свободы обеих дисперсий:

$$F = \frac{S_y^2}{S_y^2} = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\frac{1}{1-N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}, \quad (9.12)$$

где  $N$  – число измерений (число строк таблично заданной функции);  $n$  – число параллельных измерений в каждой строке.

Другими словами, модель хороша тогда, когда предсказание осуществляется с такой же точностью, с какой достигается измерение случайной величины. Естественно, что модель будет скомпрометирована, если точность прогноза окажется выше точности, которую могут обеспечить измерительные приборы, или при установленной точности прецизионных приборов точность прогноза окажется значительно хуже.

### 9.2.6. Формализация задачи

Формулирование задачи – самая сложная и ответственная стадия моделирования и оптимизации химико-технологических систем. С решением сформулированной задачи может справиться и компьютер, но сформулировать задачу может только человек. Процедура формулирования задачи должна включать в себя следующие этапы:

- выбор объекта исследования;
- выбор и обоснование количества факторов;
- выбор и обоснование числа уровней варьирования каждого фактора;
- выбор и обоснование границ факторного пространства;
- выбор метода построения информационной сети.

**9.2.6.1. Требования к факторам.** Фактором называется управляемая независимая переменная, соответствующая одному из возможных способов воздействия на объект исследований. Фактор считается заданным, если указаны его название и область определения. В выбранной области определения он может иметь несколько значений, которые соответствуют числу его различных состояний. Выбранные для эксперимента количественные или качественные состояния фактора носят название уровней варьирования фактора.

В процессе выбора факторов рекомендуется учитывать ряд требований. В качестве факторов нужно выбирать такие независимые переменные, которые могут быть измерены имеющимися средствами с достаточной точностью, являются управляемыми и однозначными, совместимы один с другим, *не связаны между собой линейными*

корреляционными связями.

Многие затруднения при постановке задачи вызываются тем, что студенты выбирают в качестве факторов параметры, которые являются функцией других факторов. Этого делать нельзя.

Совместимость факторов означает, что все их комбинации, возможные при планировании и проведении вычислительного эксперимента, могут быть осуществлены на практике. Обстоятельство это весьма существенно, особенно если принять во внимание характерную черту планирования эксперимента, связанную с одновременным изменением сразу многих факторов. Вопрос о корреляции факторов заслуживает особого внимания. Существует правило – при наличии линейной корреляции между факторами эксперимент нельзя осуществлять, поскольку каждый фактор в отдельном опыте должен принимать значение, которое фиксируется независимо от уровней других факторов.

**9.2.6.2. Выбор и обоснование количества факторов.** Количество факторов, включаемых в математическую модель, определяет размерность задачи, стоимость ее реализации и сроки выполнения. Модели с малым количеством факторов способны вообще скомпрометировать результат, поскольку могут оказаться незадействованными важные переменные, оказывающие на объект решающее влияние. Многофакторные модели могут существенно снижать быстродействие системы оперативного технологического управления, повышать себестоимость их получения и эксплуатации.

Чтобы помочь в решении проблемы выбора факторов, можно рекомендовать следующие действия:

- составить представление о каждом факторе путем проведения однофакторных вычислительных экспериментов на модели производственного комплекса *Complex* с помощью диалогового окна *Оперативное управление с нуля*;

- провести отсеивающий вычислительный эксперимент со многими факторами на двух уровнях;

- осуществить ранжирование факторов с помощью обработки мнений специалистов, используя обучающий программный модуль *Konkor*.

**9.2.6.3. Выбор и обоснование числа уровней варьирования каждого фактора.** При выборе числа уровней варьирования факторов следует помнить, что для определения положения прямой линии достаточно знать координаты двух ее точек на плоскости, кубическая кривая требует информации о положении четырех

точек, а чтобы аппроксимировать экспериментальные данные зависимостью четвертого порядка, фактор нужно варьировать уже не менее чем на 5 уровнях.

Выбор числа уровней варьирования факторов тесно связан с проблемой выбора границ факторного пространства (рис. 9.2). Если исследовать только локальные области I, III, V, VII, то можно ограничиться лишь двумя уровнями варьирования, если исследовать области II, IV или VI, то необходимо планировать трехуровневый эксперимент, если получать модель для области I + II + III + IV + V + VI + VII, то каждый фактор нужно варьировать не менее, чем на 6 уровнях.

**9.2.6.4. Выбор и обоснование границ факторного пространства.** При решении этой проблемы необходима априорная информация и некоторый опыт моделирования подобных объектов. Ведь глупо искать результат там, где его просто не может быть. Поэтому при построении информационной сети для моделирования производственного комплекса *Complex* необходимо провести предварительный интуитивный вычислительный эксперимент по определению возможных границ рабочего диапазона изменения каждого фактора.

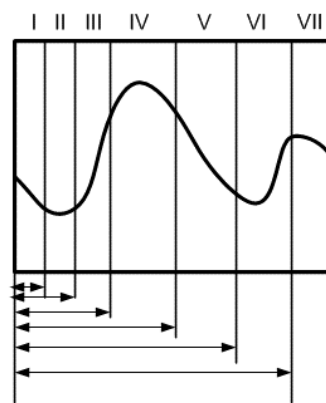


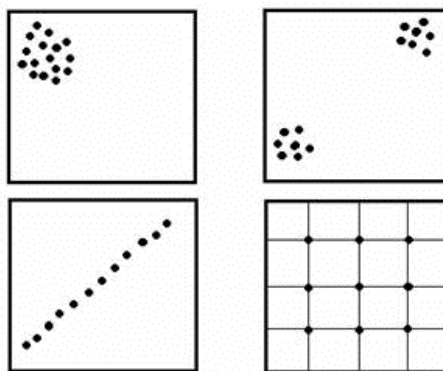
Рис. 9.2. Взаимосвязь между границами факторов и уровнями их варьирования

**9.2.6.5. Выбор метода построения информационной сети.** Рациональное размещение источников информации в факторном пространстве определяет объективность и адекватность описания процессов химической технологии и промышленной экологии.

На рис. 9.3 показаны возможные принципиальные варианты размещения одного и того же количества датчиков в факторном пространстве.

Из рис. 9.3 ясно, что ни один из четырех вариантов не может рассматриваться как удачный. В двух верхних и левом нижнем вариантах все возможности съема информации с датчиков будут ограничиваться локальными областями исследования, в то время как остальная часть пространства окажется необследованной. Слабой стороной нижнего правого варианта является возможная избыточность информации при малом шаге координатной сетки и недостаточность при большом.

Между тем объем информации, необходимой для получения математической модели с заданной точностью, может быть многократно уменьшен. Значительное число источников информации можно изъять из узлов информационной сети, увеличив уровень требований к оценке изучаемого параметра в окрестности оставшихся точек.



9.3. Примеры размещения датчиков при организации сбора информации

### 9.2.7. Структура программы получения полиномиальных моделей

Поскольку при подготовке рукописи к изданию требуется использовать начертание символов, отличающееся от принятого в Mathcad, то описание программы в настоящем пособии не является листингом.

Для получения полиномиальной модели необходимо иметь таблично заданную функцию, поэтому необходимо выполнить следующую подготовительную работу:

- выбрать объект моделирования, например, выделить зону территории, для которой будет получено математическое описание загрязнения;
- выбрать и обосновать количество факторов, включаемых в математическую модель, и число уровней их варьирования;
- с помощью проективных геометрий и полей Галуа построить информационную сеть и в узлах этой сети получить результаты измерений загрязнения (в рабочем примере выбраны три фактора:  $X_1$  – абсцисса,  $X_2$  – ордината,  $X_3$  – время)

Структуру программы удобнее всего представить в виде таблицы с программными строками и комментариями (табл. 9.5).

Таблица 9.5

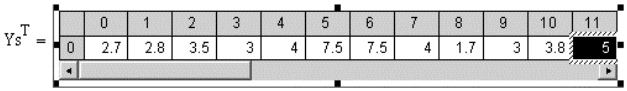
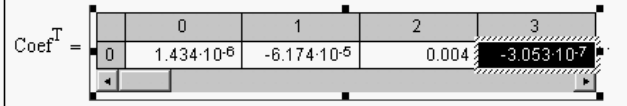
#### Структура программы получения полиномиальных моделей

| Программные строки | Комментарии   |
|--------------------|---|
|                    | Информационную сеть и таблично заданную функцию можно предварительно заготовить средствами приложения Excel |



| Программные строки   | Комментарии   |
|--|---|
| <p><b>M:= READFILE (“data.xls”, “Excel”, 2, 1)</b><br/>                     Прочитать файл с именем data.xls типа Excel, начиная со второй строки и с первого столбца.</p>                               | <p><b>READFILE</b> – встроенная функция облегчает программное считывание данных из внешнего файла с аргументами: READFILE (“file”, “type”, [colwidth, rows, cols, emptyfile]), “file” – имя файла; “type” – тип файла (“delimited” или “Excel”); Colwidth – ширина столбца данных; Rows – начальная строка импорта; Cols – начальный столбец импорта; Emptyfile – заполнение пустот (NaN)</p> |
|  | <p>Начальные условия, считанные из файла “data.xls”</p>   |
| <p>Поскольку в одной матрице были сохранены столбцы независимых переменных (факторов) и столбцы результатов трех параллельных измерений в каждой строке, то необходимо их разделить в разные массивы</p> |   |
| <p><b>ORIGIN := 0</b></p>  | <p>Служебное слово, указывающее на то, что нумерация элементов массивов начинается с нуля</p>   |
| <p><b>n := 3</b></p>   | <p>Количество факторов (независимых переменных)</p>   |
| <p><b>m := 3</b></p>   | <p>Количество повторных</p>   |

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | измерений признака в одной строке |
|--|-----------------------------------|

| Программные строки   | Комментарии   |
|--|---|
| $j := 0 \dots n - 1 \quad X^{(j)} := M^{(j)}$  | Выделение из матрицы $M$ трех столбцов независимых переменных   |
| $j := n \dots n + m - 1 \quad Y^{(j-3)} := M^{(j)}$  | Выделение из матрицы $M$ трех столбцов результатов измерений  |
| $N := \text{rows}(X) - 1$<br>$M_X := \text{cols}(X) - 1$<br>$M_Y := \text{cols}(Y) - 1$  | Число строк и число столбцов независимых переменных и результатов измерений   |
| $i := 0 \dots N \quad j := 0 \dots M_Y$<br>$Y_{S_i} := \frac{1}{M_Y + 1} \sum_j Y_{i,j}$    | Расчет средних значений результатов измерений   |
| $k := 4$<br>$R := \text{regress}(X, Y_S, k)$<br>$\text{Coef} := \text{submatrix}(R, 4, \text{length}(R) - 1, 0, 0)$  <p>Количество коэффициентов<br/> <math>\text{Length}(\text{Coef}) = 34</math></p> | Вычисление коэффициентов аппроксимирующего полинома четвертого порядка с помощью встроенной функции $\text{Regress}(x, y, k)$       |
| $F_R(x_1, x_2, x_3) := \text{interp} \left[ R, X, Y_S, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right]$  | Полученная полиномиальная модель в виде интерполяционного полинома  |
| $J := 0 \dots n - 1$<br>$V \min_j := \min(X^{(j)})$<br>$V \max_j := \max(X^{(j)})$   | Минимальные и максимальные значения каждого фактора   |
| $Np := 40$<br>$dx_j := \frac{V \max_j - V \min_j}{Np - 1}$<br>$dx^T = (12.821 \ 6.41 \ 0.641)$   | Подготовка к построению графика поверхности функции. Количество точек (40) при построении графика и приращения по каждому аргументу |
| $k := 0 \dots Np - 1$<br>$X1_{k,j} := V \min_j + k \cdot dx_j$<br>$X := X1$  | Значения аргументов в каждой точке графика  |

|         |   |    |        |        |        |        |        |
|---------|---|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| $X^T =$ |   | 0  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|         | 0 | 0  | 12.821 | 25.641 | 38.462 | 51.282 | 64.103 |
|         | 1 | 0  | 6.41   | 12.821 | 19.231 | 25.641 | 32.051 |
|         | 2 | 10 | 10.641 | 11.282 | 11.923 | 12.564 | 13.205 |

**Листинг 9.2. Программа получения полиномиальных моделей**

В качестве исходных данных возьмем информационную сеть и таблично заданную функцию из [1], описывающую загрязнение территории диоксидом серы

```
M := READFILE("data.xls", "Excel", 2, 1)
Прочитать файл с именем data.xls типа
Excel, начиная со второй строки и
с первого столбца
```

Выделим из таблицы M значения независимых факторов X и значения результатов измерений Y

|     |     |     |     |    |    |    |    |
|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| M = |     | 0   | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  |
|     | 0   | 0   | 0   | 10 | 25 | 27 | 29 |
|     | 1   | 100 | 0   | 15 | 26 | 28 | 30 |
|     | 2   | 200 | 0   | 20 | 34 | 35 | 36 |
|     | 3   | 300 | 0   | 25 | 28 | 30 | 32 |
|     | 4   | 400 | 0   | 30 | 38 | 40 | 42 |
|     | 5   | 500 | 0   | 35 | 73 | 75 | 77 |
|     | 6   | 0   | 50  | 35 | 74 | 75 | 76 |
|     | 7   | 100 | 50  | 10 | 38 | 40 | 42 |
|     | 8   | 200 | 50  | 15 | 15 | 17 | 19 |
|     | 9   | 300 | 50  | 20 | 30 | 33 | 27 |
|     | 10  | 400 | 50  | 25 | 35 | 38 | 41 |
|     | 11  | 500 | 50  | 30 | 50 | 52 | 48 |
|     | 12  | 0   | 100 | 30 | 40 | 43 | 37 |
|     | 13  | 100 | 100 | 35 | 58 | 60 | 62 |
|     | 14  | 200 | 100 | 10 | 23 | 25 | 27 |
| 15  | 300 | 100 | 15  | 41 | 43 | 45 |    |

```
n := 3  m := 3
j := 0.. n - 1
X<j> := M<j>
j := n.. n + m - 1
Y<j> := M<j>
```

где:

- X1 - абсцисса
- X2 - ордината
- X3 - время

Рассчитаем средние значения для результатов эксперимента

```
N := rows(X) - 1
Mx := cols(X) - 1
```

My := cols(Y) - 1

i := 0.. N

j := 0.. My

$$Y_{S_i} := \frac{1}{My + 1} \cdot \sum_j Y_{i,j}$$

$$Y_{S_i} := \frac{Y_{S_i}}{10}$$

|           |   |      |     |      |     |   |      |      |   |
|-----------|---|------|-----|------|-----|---|------|------|---|
| $Y_S^T =$ |   | 0    | 1   | 2    | 3   | 4 | 5    | 6    | 7 |
|           | 0 | 1.35 | 1.4 | 1.75 | 1.5 | 2 | 3.75 | 3.75 | 2 |

Аппроксимация полиномиальной моделью 4 степени

k := 4

Степень полиномиальной модели

$R := \text{regress}(X, Y_s, k)$

Нахождение коэффициентов аппроксимирующего полинома

Коэффициенты уравнения регрессии:

Coef := submatrix(R, 4, length(R) - 1, 0, 0)

|            |   |                      |                        |       |                        |
|------------|---|----------------------|------------------------|-------|------------------------|
| $Coef^T =$ |   | 0                    | 1                      | 2     | 3                      |
|            | 0 | $7.17 \cdot 10^{-7}$ | $-3.087 \cdot 10^{-5}$ | 0.002 | $-1.526 \cdot 10^{-7}$ |

Количество коэффициентов

length(Coef) = 34

$$F_R(x_1, x_2, x_3) := \text{interp}\left[R, X, Y_s, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}\right]$$

j := 0.. n - 1

$V_{\min_j} := \min(X^{(j)})$

$V_{\max_j} := \max(X^{(j)})$

Построим график функции регрессии

Np := 40

Количество точек при построении графика

$$dx_j := \frac{V_{\max_j} - V_{\min_j}}{Np - 1}$$

$dx^T = (12.821 \quad 6.41 \quad 0.641)$

$k := 0.. Np - 1$

$X1_{k,j} := V_{\min_j} + k \cdot dx_j$

Изменение каждого признака в количестве 20 точек

X := X1

$$X^T =$$

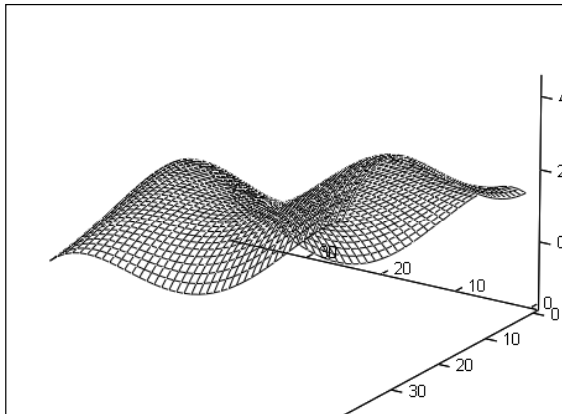
|   | 0  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|---|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 0  | 12.821 | 25.641 | 38.462 | 51.282 | 64.103 | 76.923 |
| 1 | 0  | 6.41   | 12.821 | 19.231 | 25.641 | 32.051 | 38.462 |
| 2 | 10 | 10.641 | 11.282 | 11.923 | 12.564 | 13.205 | 13.846 |

$i := 0.. Np - 1$

$j := 0.. Np - 1$

$M_{i,j} := F_R(X_{i,0}, X_{j,1}, 10 + FRAME)$

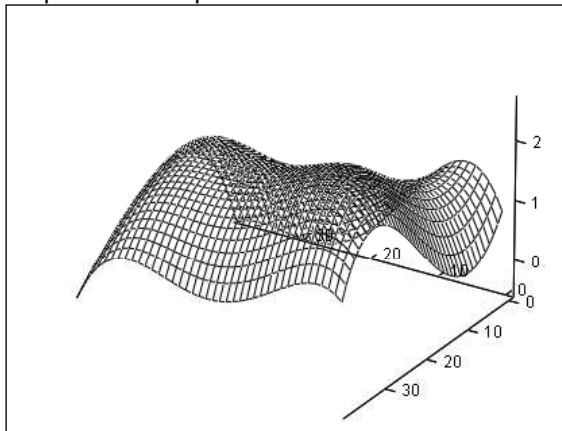
Загрязнение через 10 мин



M

$M_{i,j} := F_R(X_{i,0}, X_{j,1}, 15)$

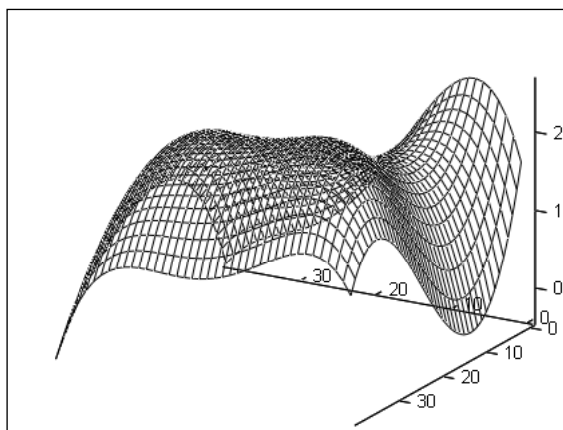
Загрязнение через 15 мин



M

$M_{i,j} := F_R(X_{i,0}, X_{j,1}, 20)$

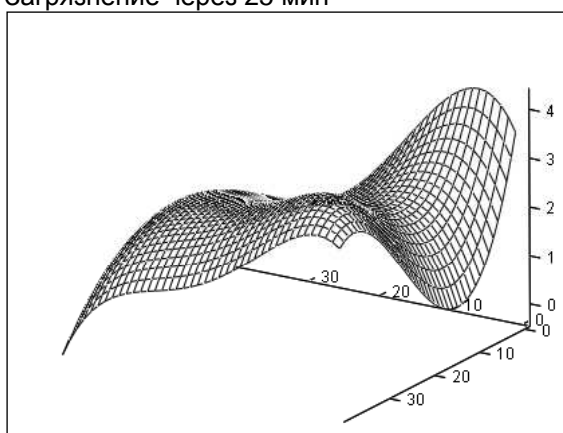
Загрязнение через 20 мин



М

$$M_{i,j} := F_R(X_{i,0}, X_{j,1}, 25)$$

Загрязнение через 25 мин



М

### 9.3. Графические модели химико-технологических систем

#### 9.3.1. Понятие химико-технологической системы

Как известно, любое химическое производство представляет собой совокупность большого количества аппаратов, внутри которых протекают различные технологические процессы (ХТП), взаимосвязанные между собой потоками сырья, продуктов и энергоносителей. Так как химическое производство перерабатывает определенное сырье и выпускает конкретную продукцию, то можно заключить, что весь комплекс взаимосвязанных аппаратов и потоков работает в масштабах переработки сырья и выпуска продукции как единое целое, т. е. как система.

Совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как единое целое аппаратов, в которых осуществляется определенная последовательность технологических операций с целью

выпуска конкретной продукции, называется химико-технологической системой (ХТС).

Элементом ХТС называется часть ХТС, которая в конкретном рассмотрении является неделимой.

Таким образом, каждый элемент ХТС представляет собой некую подсистему, являющуюся одновременно элементом ХТС.

С целью классификации элементов ХТС применяется иерархический принцип. Обычно различают четыре основных уровня иерархии элементов (подсистем) ХТС:

- типовые ХТС и их совокупность в масштабах машин и аппаратов;
- агрегаты и комплексы, представляющие совокупность типовых процессов в масштабах производств и их отдельных участков;
- совокупность производств в масштабе выпуска товарной продукции;
- химическое предприятие в целом.

Деление по уровням иерархии является условным, следовательно, в зависимости от конкретной задачи может появиться необходимость, например, рассмотреть типовые ХТС на уровнях подсистем их элементов (уровень ниже первого) или рассмотреть совокупность предприятий в региональном масштабе (уровень выше четвертого). Однако при переходе на другие уровни или при одновременном рассмотрении ХТС на различных уровнях одновременно следует учитывать универсальные принципы построения элементов (подсистем) ХТС и их функционирования.

### **9.3.2. Основные понятия и определения теории графов**

Для определения графа необходимо два компонента – множество  $X$ , состоящее из элементов, и закон, позволяющий устанавливать соответствие  $T$  между каждым элементом множества  $X$  и некоторыми из его подмножеств.

Две математические величины – множество  $X$  и соответствие  $T$  – определяют граф  $G$ , обозначаемый  $G = (X, T)$ . Элементы множества  $X$  изображаются точками и называются вершинами графа, а соответствие  $T$  – отрезками (иногда направленными), соединяющими элементы, называемыми ребрами или дугами графа. Две точки  $x_i$  и  $x_j$  называются смежными, если они определяют ребро или дугу графа.

С каждой неизолированной вершиной  $i$  графа  $G$  связано одно или несколько ребер (дуг). Эти ребра (дуги) называют инцидентными вершине  $i$ .

Две различные дуги смежны, если они имеют одну общую вершину.

Последовательность дуг, при которой конец одной дуги является



началом другой, называется *путем*. Путь, в котором никакая вершина дважды не встречается, называется элементарным.

Если начальная и конечная точки пути совпадают, образуется *контур*.

*Петлей* называется контур единичной длины. Петля связывает точку саму с собой.

Последовательность ребер образует *цепь*. Замкнутая цепь образует *цикл*.

Понятия ребра, цепи и цикла отличаются от понятий дуги, пути и контура только тем, что для последних принимается во внимание направление (ориентация).

Граф является не геометрической, а топологической фигурой. Последней называют такую фигуру, определенные свойства которой инвариантны при взаимно непрерывном и взаимнооднозначном пространственном преобразовании. Существенные инвариантные свойства графа отражают только число вершин, число ребер (дуг) и характер связи между вершинами. Так как граф является фигурой топологической, то один и тот же граф может быть изображен различными способами: вершины можно располагать в произвольном порядке, а соединяющие их ребра (дуги) проводить в виде прямых, кривых или ломаных линий. Независимо от способа изображения информация, содержащаяся в графе, остается одной и той же.

Два графа называются изоморфными, если они имеют одинаковое число вершин, и если каждой паре вершин, соединенных ребром в одном графе, соответствует такая же пара вершин, которые соединены ребром в другом графе.

Получение графа, изоморфного некоторому исходному, можно наглядно представить, изобразив этот исходный граф на упругой поверхности, например, на листе резины. Какой бы деформации без разрушения не подвергалась поверхность листа резины, изображенный на ней граф не претерпит топологических изменений.

Число ребер, инцидентных некоторой вершине  $i$ , называется степенью вершины и обозначается  $\rho(i)$ .

У ориентированного графа можно выделить дуги, входящие в некоторую вершину  $i$  и выходящие из нее.

Информация, содержащаяся в графе, может быть представлена в виде матрицы.

Эта связь матрицы и графа имеет чрезвычайно важное значение при практическом применении топологических методов к математическому описанию химико-технологических систем, так как

позволяет перевести структурные особенности системы на язык чисел, обрабатываемых компьютером.

### 9.3.3. Матричная форма графа

Матрицей смежности, соответствующей графу  $G = (X, Y)$ , который состоит из  $n$  вершин  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), называется матрица  $H$  порядка  $(n \times n)$  с элементами по формуле (9.13):

$$h_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если вершина } x_i \text{ не связана ребром с вершиной } x_j, \\ 1, & \text{если вершина } x_i \text{ связана ребром с вершиной } x_j. \end{cases} \quad (9.13)$$

Матрицей инцидентий, соответствующей графу  $G = (k, q)$ , который состоит из  $n$  вершин  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и из дуг  $q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), называется матрица  $S$  порядка  $(n \times m)$  с элементами по формуле (9.14):

$$S_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{если дуга } q_j \text{ выходит из вершины } x_i, \\ +1, & \text{если дуга } q_j \text{ входит в вершину } x_i, \\ 0, & \text{если дуга } q_j \text{ не инцидентна вершине } x_i. \end{cases} \quad (9.14)$$

Матрицу  $S$  называют также структурной матрицей графа.

Потоковый граф, гомоморфный рассматриваемой системе и являющийся ее топологической моделью, можно поставить в соответствие любому производственному объекту. *Потоковые графы существуют только для установившихся равновесных технологических режимов.*

Потоковые графы бывают материальные, тепловые (энергетические) и параметрические.

Материальные потоковые графы подразделены на графы по общему массовому расходу физических потоков и графы компонентов этих потоков.

Вершины материальных потоковых графов соответствуют элементам химико-технологических систем, которые выступают в качестве источников и стоков веществ физических потоков. Дуги этих графов отвечают обобщенным материальным потокам.

Основные характерные особенности материальных потоковых графов:

- ориентированность, так как движение потоков веществ и энергии в системе происходит в строго определенном направлении;
- асимметричность, потому что не все соседние элементы системы связаны между собой обратными технологическими связями;
- связность, так как все элементы в системе взаимосвязаны единой цепью потоков веществ и энергии.

В общем случае материальный или тепловой потоковый граф содержит  $m$  вершин-источников,  $n$  вершин-стоков,  $k$  промежуточных вершин, соответствующих элементам системы, и  $e$  дуг, которые отвечают обобщенным материальным или тепловым потокам.

Для каждой промежуточной вершины материального или теплового потокового графа на основе законов сохранения массы и энергии можно записать уравнения вершин для потоков по дугам графа по формулам (9.15), (9.16):

$$\sum_{j=1}^e W_{jk} = 0; \quad (9.15)$$

$$\sum_{i=1}^p W_{ik} - \sum_{j=1}^{(e-p)} W_{kj} = 0, \quad (9.16)$$

где  $e$  – число дуг, выходящих из  $k$ -й вершины;  $p$  – число дуг, входящих в  $k$ -ую вершину;  $W_{jk}$  – потоки по  $j$ -й дуге графа, инцидентной  $k$ -й вершине;  $W_{ik}$  – поток по  $i$ -й дуге, входящий в  $k$ -ю вершину;  $W_{kj}$  – поток по  $j$ -й дуге, выходящий из  $k$ -й вершины графа.

Совокупность уравнений вершин для потоков по дугам графа, которые составлены для всех промежуточных вершин, образуют систему независимых уравнений вершин потокового графа по формуле

$$[A^*] \times [W^*] = 0, \quad (9.17)$$

где  $[A^*]$  – матрица инциденций графа, порядок которой равен  $(k \times e)$ ;  $[W^*]$  – матрица-столбец потоков по всем дугам графа, порядок которой равен  $(e \times 1)$ .

На основе законов сохранения массы и энергии для всей системы в целом можно записать общее уравнение вершин-источников и вершин-стоков материального или теплового графа соотношением

$$\sum_m W_m(b) - \sum_n W_n(c) = 0, \quad (9.18)$$

где  $W_m(b)$  – поток по  $b$ -й дуге, инцидентной  $m$ -й вершине-источнику;  $W_n(c)$  – поток по  $c$ -й дуге, инцидентной  $n$ -й вершине-стоку;  $m$  – число вершин-источников;  $n$  – число вершин-стоков.

#### 9.3.4. Понятие мультиграфа

Мультиграфом называется такой граф, в котором одна и та же пара вершин может соединяться более чем одним ребром.

Информационная связь моделей отдельных элементов между

собой осуществляется через информационные потоки. Вершины информационно-поточкового мультиграфа соответствуют информационным операторам элементов, источникам и приемникам информационных переменных системы. Ветви мультиграфа отображают информационные потоки свободных и базисных переменных.

### 9.3.5. Описание рабочего примера

В качестве рабочего примера предлагается рассмотреть трехступенчатую схему очистки суспензии волокнистых отходов на вихревых очистителях (рис. 9.4).

Возможность создания различных условий очистки и получения разных результатов на однотипном оборудовании обеспечивается различной степенью разбавления суспензии.

Очищенную массу можно разделить по сортам после каждой ступени, однако рациональнее организовать очистку с использованием рециркуляции. Замкнутые химико-технологические системы постадийно не рассчитываются вообще. Поэтому расчет мгновенных материальных балансов систем, рассматриваемых как единое целое, с помощью потоковых графов представляет теоретический и практический интерес.

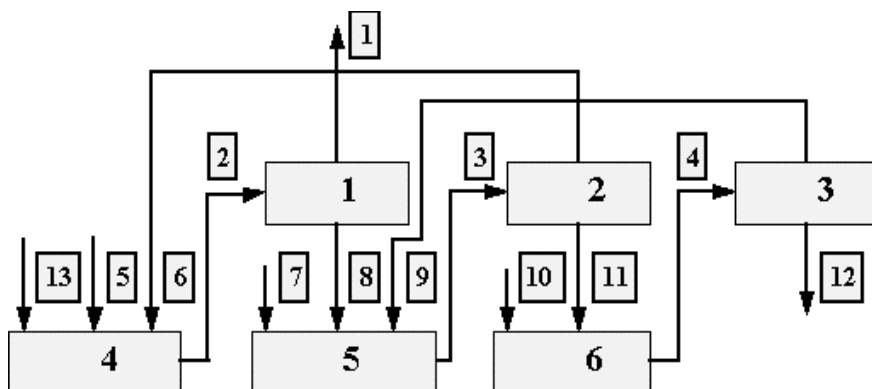


Рис. 9.4. Структурная блок-схема трехступенчатой очистки суспензии волокнистых отходов на вихревых очистителях. Вершины:

1, 2, 3 – ступени очистки макулатурной массы; 4, 5, 6 – сборники отходов.

Дуги: 1 – очищенная масса; 2, 3, 4 – потоки массы на I, II, III ступень очистки;

5, 7, 10 – потоки воды на разбавление перед каждой ступенью очистки;

6, 9 – рециркуляция; 8, 11, 12 – потоки отходов

В схеме предусматривается многократный пропуск суспензии через предыдущие ступени очистки, для чего организуются рециклы потоков 6 и 9.

### 9.3.6. Топологическая модель рабочего примера

Представим схему очистки рис. 9.4 в виде потоковой графической модели, где узлы графа соответствуют технологическим узлам ХТС, а дуги (связи) – материальным потокам между ними (табл. 9.6–9.7). Графическая модель представлена на рис. 9.5.

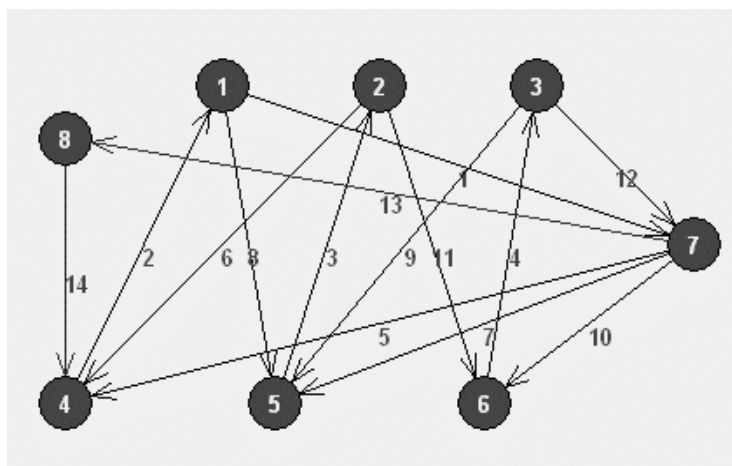


Рис. 9.5. Графическая модель системы очистки волокнистых отходов

Таблица 9.6

**Узлы графа, моделирующего систему очистки отходов**

| № | Имя                     |
|---|-------------------------|
| 1 | Первая ступень очистки  |
| 2 | Вторая ступень очистки  |
| 3 | Третья ступень очистки  |
| 4 | Приемный резервуар      |
| 5 | Сборник отходов         |
| 6 | Сборник отходов         |
| 7 | Вспомогательная вершина |
| 8 | Вспомогательная вершина |

Таблица 9.7

**Информация о материальных потоках системы очистки отходов (дугах графа)**

| Номер | Имя                  | Источник | Получатель |
|-------|----------------------|----------|------------|
| 1     |                      | 1        | 7          |
| 2     |                      | 4        | 1          |
| 3     | Поток на II ступень  | 5        | 2          |
| 4     | Поток на III ступень | 6        | 3          |
| 5     | Вода на разбавление  | 7        | 4          |
| 6     | Рецикл               | 2        | 4          |
| 7     | Вода на разбавление  | 7        | 5          |
| 8     | Отходы I ступени     | 1        | 5          |

|    |                                  |   |   |
|----|----------------------------------|---|---|
| 9  | Рецикл                           | 3 | 5 |
| 10 | Вода на разбавление              | 7 | 6 |
| 11 | Отходы II ступени                | 2 | 6 |
| 12 | Отходы III ступени               | 3 | 7 |
| 13 | Суспензия на очистку             | 7 | 8 |
| 14 | Поступление суспензии на очистку | 8 | 4 |

Представим графическую модель в виде матрицы инцидентий (табл. 9.8).

Необходимо помнить, что в процессе работы при реальных обстоятельствах когерентной технологической системы изменение концентрации одного потока приведет к закономерному изменению (подстройке) всех остальных потоков. Вычислительный эксперимент на тренажере не имеет свойств гибкого реагирования всех потоков на изменение условий работы одного. Поэтому успешное использование тренажера может быть обеспечено в тех случаях, когда концентрации потоков измеряются непосредственно на действующем оборудовании при достижении статистически равновесного установившегося стабильного состояния всей системы.

Таблица 9.8

**Матрица инцидентий**

| № п/п | 1. Очищенная суспензия | 2. Поток на I ступень | 3. Поток на II ступень | 4. Поток на III ступень | 5. Вода на разбавление | 6. Рецикл | 7. Вода на разбавление | 8. Отходы I ступени | 9. Рецикл | 10. Вода на разбавление | 11. Отходы II ступени | 12. Отходы III ступени | Известный |
|-------|------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|------------------------|---------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| 1     | -1                     | 1                     | 0                      | 0                       | 0                      | 0         | 0                      | -1                  | 0         | 0                       | 0                     | 0                      | 0         |
|       | -0,65                  | 0,7                   | 0                      | 0                       | 0                      | 0         | 0                      | -0,77               | 0         | 0                       | 0                     | 0                      | 0         |
| 2     | 0                      | 0                     | 1                      | 0                       | 0                      | -1        | 0                      | 0                   | 0         | 0                       | -1                    | 0                      | 0         |
|       | 0                      | 0                     | 0,5                    | 0                       | 0                      | -0,47     | 0                      | 0                   | 0         | 0                       | -0,57                 | 0                      | 0         |
| 3     | 0                      | 0                     | 0                      | 1                       | 0                      | 0         | 0                      | 0                   | -1        | 0                       | 0                     | -1                     | 0         |
|       | 0                      | 0                     | 0                      | 0,3                     | 0                      | 0         | 0                      | 0                   | -0,27     | 0                       | 0                     | -0,37                  | 0         |
| 4     | 0                      | -1                    | 0                      | 0                       | 1                      | 1         | 0                      | 0                   | 0         | 0                       | 0                     | 0                      | -13538,5  |
|       | 0                      | -0,7                  | 0                      | 0                       | 0,02                   | 0,47      | 0                      | 0                   | 0         | 0                       | 0                     | 0                      | -88000    |
| 5     | 0                      | 0                     | -1                     | 0                       | 0                      | 0         | 1                      | 1                   | 1         | 0                       | 0                     | 0                      | 0         |

|   |      |   |      |      |       |   |       |      |      |       |      |      |          |
|---|------|---|------|------|-------|---|-------|------|------|-------|------|------|----------|
|   | 0    | 0 | -0,5 | 0    | 0     | 0 | 0,02  | 0,77 | 0,27 | 0     | 0    | 0    | 0        |
| 6 | 0    | 0 | 0    | -1   | 0     | 0 | 0     | 0    | 0    | 1     | 1    | 0    | 0        |
|   | 0    | 0 | 0    | -0,3 | 0     | 0 | 0     | 0    | 0    | 0,02  | 0,57 | 0    | 0        |
| 7 | 1    | 0 | 0    | 0    | -1    | 0 | -1    | 0    | 0    | -1    | 0    | 1    | 13538,46 |
|   | 0,65 | 0 | 0    | 0    | -0,02 | 0 | -0,02 | 0    | 0    | -0,02 | 0    | 0,37 | 88000    |

### Листинг 9.3. Программа анализа потокового графа

Расчет материального баланса потоков химико-технологических систем на основе потоковых графов и встроенной функции Mathcad 13 Isolve(X, Y) для решения нормальных и переопределенных систем линейных уравнений

ORIGIN := 1

M := READFILE("graph.xls", "Excel", 2, 2)

C := READFILE("graph\_rez.xls", "Excel", 2, 5)

Прочитать файл с именем graph.xls типа Excel, начиная со второй строки и второго столбца

Прочитать файл с именем graph\_rez.xls типа Excel, начиная со второй строки и пятого столбца

|       | 1     | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | -1    | 1    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | -1    | 0     | 0     |
| 2     | -0.65 | 0.7  | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | -0.77 | 0     | 0     |
| 3     | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | -1    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 4     | 0     | 0    | 0.5  | 0    | 0     | -0.47 | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 5     | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 0     | 0     | 0     | -1    | 0     |
| 6     | 0     | 0    | 0    | 0.3  | 0     | 0     | 0     | 0     | -0.27 | 0     |
| M = 7 | 0     | -1   | 0    | 0    | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 8     | 0     | -0.7 | 0    | 0    | 0.02  | 0.47  | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9     | 0     | 0    | -1   | 0    | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 10    | 0     | 0    | -0.5 | 0    | 0     | 0     | 0.02  | 0.77  | 0.27  | 0     |
| 11    | 0     | 0    | 0    | -1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 12    | 0     | 0    | 0    | -0.3 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.02  |
| 13    | 1     | 0    | 0    | 0    | -1    | 0     | -1    | 0     | 0     | -1    |
| 14    | 0.65  | 0    | 0    | 0    | -0.02 | 0     | -0.02 | 0     | 0     | -0.02 |

n := 12

j := 1..n

Выделим из таблицы M значения неизвестных материальных потоков X и значения известного потока Y

$$X^{(j)} := M^{(j)}$$

$$Y^{(1)} := M^{(n+1)}$$

$$X =$$

|    | 1     | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|----|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | -1    | 1    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | -1    | 0     | 0     | 0     |
| 2  | -0.65 | 0.7  | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | -0.77 | 0     | 0     | 0     |
| 3  | 0     | 0    | 1    | 0    | 0     | -1    | 0     | 0     | 0     | 0     | -1    |
| 4  | 0     | 0    | 0.5  | 0    | 0     | -0.47 | 0     | 0     | 0     | 0     | -0.57 |
| 5  | 0     | 0    | 0    | 1    | 0     | 0     | 0     | 0     | -1    | 0     | 0     |
| 6  | 0     | 0    | 0    | 0.3  | 0     | 0     | 0     | 0     | -0.27 | 0     | 0     |
| 7  | 0     | -1   | 0    | 0    | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 8  | 0     | -0.7 | 0    | 0    | 0.02  | 0.47  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9  | 0     | 0    | -1   | 0    | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| 10 | 0     | 0    | -0.5 | 0    | 0     | 0     | 0.02  | 0.77  | 0.27  | 0     | 0     |
| 11 | 0     | 0    | 0    | -1   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     |
| 12 | 0     | 0    | 0    | -0.3 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.02  | 0.57  |
| 13 | 1     | 0    | 0    | 0    | -1    | 0     | -1    | 0     | 0     | -1    | 0     |
| 14 | 0.65  | 0    | 0    | 0    | -0.02 | 0     | -0.02 | 0     | 0     | -0.02 | 0     |

$$Y =$$

|    | 1                      |
|----|------------------------|
| 1  | 0                      |
| 2  | 0                      |
| 3  | 0                      |
| 4  | 0                      |
| 5  | 0                      |
| 6  | 0                      |
| 7  | -1.354·10 <sup>4</sup> |
| 8  | -8.8·10 <sup>4</sup>   |
| 9  | 0                      |
| 10 | 0                      |
| 11 | 0                      |
| 12 | 0                      |
| 13 | 1.354·10 <sup>4</sup>  |
| 14 | 8.8·10 <sup>4</sup>    |

$$C =$$

|    | 1    |
|----|------|
| 1  | 0.65 |
| 2  | 0.7  |
| 3  | 0.5  |
| 4  | 0.3  |
| 5  | 0.02 |
| 6  | 0.47 |
| 7  | 0.02 |
| 8  | 0.77 |
| 9  | 0.27 |
| 10 | 0.02 |
| 11 | 0.57 |
| 12 | 0.37 |
| 13 | 6.5  |
| 14 | 6.5  |

$$Q := \text{Isolve}(X, Y)$$

$$S_j := C_j \cdot \frac{Q_j}{100}$$

$$Q =$$

|    | 1                     |
|----|-----------------------|
| 1  | 1.222·10 <sup>5</sup> |
| 2  | 2.095·10 <sup>5</sup> |
| 3  | 1.737·10 <sup>5</sup> |
| 4  | 1.024·10 <sup>5</sup> |
| 5  | 7.435·10 <sup>4</sup> |
| 6  | 1.216·10 <sup>5</sup> |
| 7  | 1.476·10 <sup>4</sup> |
| 8  | 8.728·10 <sup>4</sup> |
| 9  | 7.165·10 <sup>4</sup> |
| 10 | 5.025·10 <sup>4</sup> |
| 11 | 5.211·10 <sup>4</sup> |
| 12 | 3.071·10 <sup>4</sup> |

$$S =$$

|    | 1                     |
|----|-----------------------|
| 1  | 794.258               |
| 2  | 1.466·10 <sup>3</sup> |
| 3  | 868.469               |
| 4  | 307.066               |
| 5  | 14.87                 |
| 6  | 571.452               |
| 7  | 2.953                 |
| 8  | 672.064               |
| 9  | 193.451               |
| 10 | 10.049                |
| 11 | 297.016               |
| 12 | 113.614               |

Для вычисления общей массы потоков (массив с именем Q) воспользуемся встроенной функцией Mathcad 13 Isolve(X, Y) для решения нормальных и переопределенных систем линейных уравнений. Значения содержания сухих веществ в каждом материальном потоке (массив S) получают по простой пропорции с учетом общей массы и концентрации потоков.



## **9.4. Принятие решений в условиях неопределенности и риска**

### **9.4.1. Парные матричные игры с нулевой суммой**

В цементе основными оксидами, определяющими его прочность, являются  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Но, как известно, нет двух одинаковых по химическому составу цементов. Это связано с тем, что в природе не может быть сырья абсолютно одинакового состава. Содержание основных оксидов в сырье, добываемом из различных участков и слоев карьера, всегда будет различным. Естественно, что технологические режимы получения продукции должны учитывать лабильность качества сырья.

В приведенном примере ощущаются помехи исполнению оперативных управленческих функций. Часть регулировочных рукояток оказалась как бы отсеченной от оператора. Они изменяют свое состояние сами по себе, хаотично, по воле случая, существенно влияя как на конечные результаты производственной деятельности, так и на сам процесс управления.

Здесь мы сталкиваемся с проблемой принятия решений в условиях неопределенности. Необходимо учитывать, что в этих условиях неизбежен элемент произвола, а значит, и риска. Недостаточность информации всегда опасна, и за нее приходится платить. Однако в условиях сложной ситуации всегда полезно представить варианты решения и их возможные последствия в такой форме, чтобы сделать произвол выбора менее грубым, а риск минимальным.

### **9.4.2. Понятие платежной матрицы и цены игры**

Пусть в игре участвуют два игрока  $A$  и  $B$ . Игра называется игрой с нулевой суммой (матричной игрой), если выигрыш игрока  $A$  в точности равен проигрышу игрока  $B$  (или наоборот). Игроки  $A$  и  $B$  производят ряд последовательных ходов, т. е. производят ряд последовательных действий, предусмотренных правилами игры.

Стратегия игрока – это совокупность правил, определяющих выбор варианта действий при каждом ходе в зависимости от ситуации, которая сложилась в ходе игры.

Теория игр дает указания игрокам при выборе ходов, т. е. рекомендует им лучшие стратегии.

Задание пары стратегий игроков  $A$  и  $B$  в игре двух лиц полностью определяет ее исход, т. е. выигрыш одного игрока и проигрыш

другого. Игра называется конечной, если у каждого игрока имеется лишь конечное число стратегий. Если таких стратегий бесконечно много (пусть даже только у одного игрока), то игра называется бесконечной.

Рассмотрим конечную игру, в которой игрок  $A$  имеет  $m$  стратегий  $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ , а игрок  $B$  –  $n$  стратегий  $(B_1, B_2, \dots, B_n)$ . Такая игра называется игрой  $m \times n$ . Если игроки  $A$  и  $B$  используют только личные ходы, то выбор стратегий  $A$  и  $B$  однозначно определяет исход игры  $a_{ij}$ , т. е. число, характеризующее выигрыш игрока  $A$  и проигрыш игрока  $B$ . Причем  $a_{ij}$  может быть и положительным, и отрицательным. Будем считать, что при  $a_{ij} > 0$  игрок  $A$  выигрывает, а игрок  $B$  проигрывает величину  $a_{ij}$ . Если  $a_{ij} < 0$ , то, наоборот, выигрывает игрок  $B$  и проигрывает игрок  $A$ . В этом случае вместо проигрыша часто говорят об отрицательном выигрыше игрока  $A$ .

Если в игре используются случайные ходы, то выигрыш при двух стратегиях  $A_i$  и  $B_j$  является случайным. В этом случае за оценку ожидаемого выигрыша берется его математическое ожидание.

Предположим, что нам известны все значения  $a_{ij}$  в игре  $(m \times n)$ . Эти значения удобно записать в виде таблицы платежной матрицы, где строки соответствуют стратегиям  $A_i$ , а столбцы – стратегиям  $B_j$ .

Рассмотрим игру  $m \times n$  с платежной матрицей.

|         |          |          |         |          |
|---------|----------|----------|---------|----------|
|         | $B_1$    | $B_2$    | $\dots$ | $B_n$    |
| $A_1$   | $a_{11}$ | $a_{12}$ | $\dots$ | $a_{1n}$ |
| $A_2$   | $a_{21}$ | $a_{22}$ | $\dots$ | $a_{2n}$ |
| $\dots$ | $\dots$  | $\dots$  | $\dots$ | $\dots$  |
| $A_m$   | $a_{m1}$ | $a_{m2}$ | $\dots$ | $a_{m3}$ |

Проанализируем последовательно каждую нашу стратегию  $A_1, A_2, \dots, A_m$ . Выбирая  $A_i$ , мы должны рассчитывать, что противник ответит на нее той из своих стратегий  $B_j$ , для которой наш выигрыш минимален:

$$\alpha_i = \min_j a_{ij}. \quad (9.19)$$

Выпишем  $\alpha_i$  (минимумы строк) рядом с матрицей справа и  $\beta_j$  (максимумы столбцов) внизу в виде добавочного столбца и строки.

|         |          |          |         |          |            |
|---------|----------|----------|---------|----------|------------|
|         | $B_1$    | $B_2$    | $\dots$ | $B_n$    | $\alpha_i$ |
| $A_1$   | $a_{11}$ | $a_{12}$ | $\dots$ | $a_{1n}$ | $\alpha_1$ |
| $A_2$   | $a_{21}$ | $a_{22}$ | $\dots$ | $a_{2n}$ | $\alpha_2$ |
| $\dots$ | $\dots$  | $\dots$  | $\dots$ | $\dots$  | $\dots$    |
| $A_m$   | $a_{m1}$ | $a_{m2}$ | $\dots$ | $a_{mn}$ | $\alpha_m$ |

|  |           |           |  |           |  |
|--|-----------|-----------|--|-----------|--|
|  | $\beta_1$ | $\beta_2$ |  | $\beta_n$ |  |
|--|-----------|-----------|--|-----------|--|

Естественно, мы должны предпочесть другим ту стратегию, для которой  $\alpha_i$  максимально:

$$\alpha = \max_i a_i, \quad (9.20)$$

или, принимая во внимание (9.19),

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij}. \quad (9.21)$$

Величина  $\alpha$  называется нижней ценой игры, или максимином. Та стратегия  $A_i$ , которая соответствует максимину  $\alpha$ , называется максиминной стратегией. Очевидно, если мы будем придерживаться максиминной стратегии, то при любом поведении противника нам гарантирован выигрыш, не меньший  $\alpha$ . Это наш гарантированный минимум.

Рассуждая аналогично за противника, можно утверждать, что при просмотре своих стратегий, приводящих к максимальному нашему выигрышу:

$$\beta_i = \max_i a_{ij}, \quad (9.22)$$

он должен стремиться обратить их в минимум, т. е. из всех своих стратегий он должен выбрать такую, которая минимизирует наш максимальный выигрыш:

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij}. \quad (9.23)$$

Величина  $\beta$  называется верхней ценой игры, или минимаксом, а соответствующая стратегия противника называется минимаксной стратегией. Придерживаясь минимаксной стратегии, противник гарантирован, что в любом случае не проиграет больше  $\beta$ .

Принцип осторожности, диктующий игрокам выбор максиминной и минимаксной стратегий, является в теории игр основным и называется принципом минимакса. Он вытекает из предположения о разумности каждого игрока, стремящегося достигнуть цели, противоположной цели противника.

Если верхняя цена игры совпадает с нижней ценой, то их общее значение называется чистой ценой игры. Минимаксные стратегии, соответствующие чистой цене игры, являются оптимальными стратегиями, а их совокупность – оптимальным решением. Пара чистых стратегий дает оптимальное решение тогда и только тогда, когда соответствующий ей элемент  $a_{ij}$  является одновременно





технологического режима (допустим из различных наборов значений температуры, давления и времени реакции).

$$A_1(T_1, P_1, \tau_1);$$

$$A_2(T_2, P_2, \tau_2);$$

$$A_3(T_3, P_3, \tau_3).$$

Стратегиями противника («природы») будут выступать четыре образца сырья с различным содержанием примесей.

$$B_1(S_1, P_1, Q_1);$$

$$B_2(S_2, P_2, Q_2);$$

$$B_3(S_3, P_3, Q_3);$$

$$B_4(S_4, P_4, Q_4).$$

Каждой паре стратегий будет соответствовать значение выхода продукции из единицы сырья при этих условиях. Это отражено в платежной матрице:

|       | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $A_1$ | 0,85  | 0,67  | 0,75  | 0,82  |
| $A_2$ | 0,77  | 0,89  | 0,7   | 0,93  |
| $A_3$ | 0,93  | 0,78  | 0,56  | 0,66  |

Ход игры будет построен следующим образом: сначала получим каноническое решение игры в смешанных стратегиях методом итераций, предполагая, что игра осуществляется с сознательным противником, а затем введем элемент случайности, по которому противник на ход игрока будет отвечать своим ходом с использованием механизма генерации случайных чисел в Excel: =INT(RAND()\*4)+1, где 4 – количество стратегий противника (состояний окружающей среды). Таким образом, будет проведен вычислительный эксперимент в 30 итераций и приведена итоговая статистика, показывающая, какая из стратегий химико-технологической системы чаще всего применялась и принесла наибольший выигрыш.

**9.4.4.1. Решение парной матричной игры с сознательным противником методом итераций.** В данном варианте предполагается, что противники будут анализировать каждый шаг друг друга и осмысленно принимать решение по выбору очередного хода с учетом собственных интересов. Чтобы ориентироваться в событиях, происходящих в процессе игры, на рис. 9.6 приведен общий вид рабочего листа книги, на рис. 9.7 воспроизведена платежная

матрица, привязанная к координатам ячеек электронной таблицы.

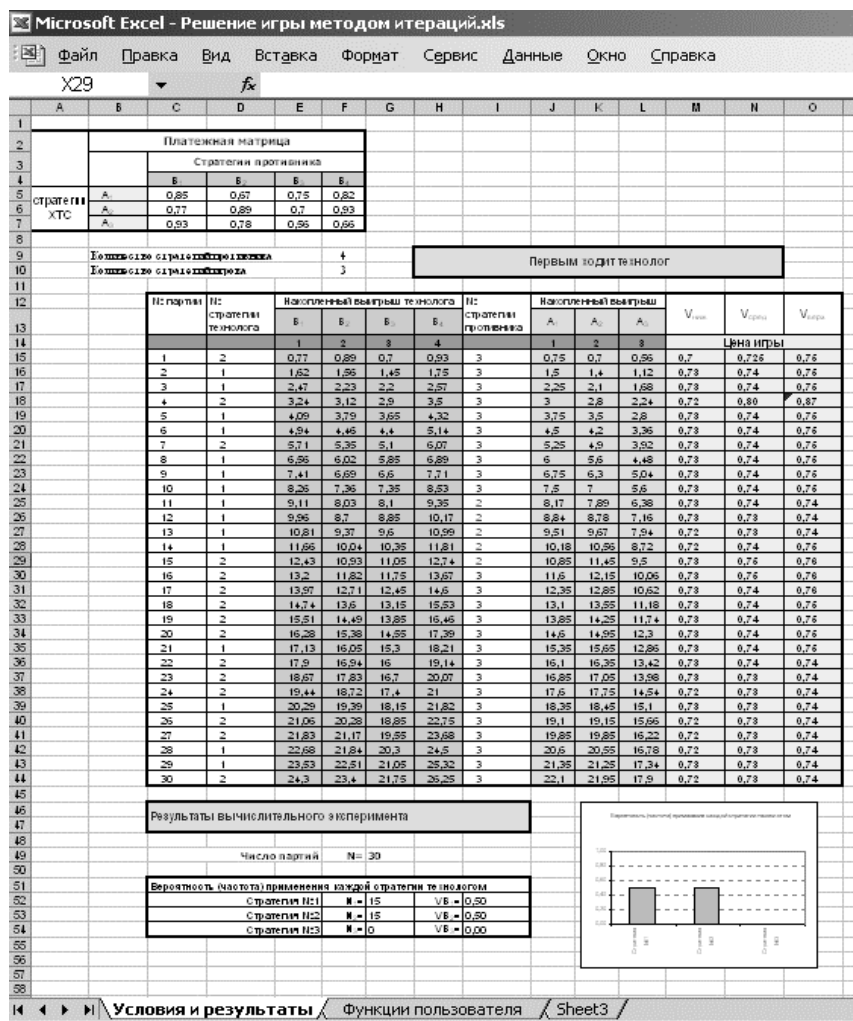


Рис. 9.6. Общий вид книги рабочего листа для решения игры методом итераций

|   |                     | A                    | B              | C              | D              | E              | F |
|---|---------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
| 1 |                     |                      |                |                |                |                |   |
| 2 | Стратегии технолога | Платежная матрица    |                |                |                |                |   |
| 3 |                     | Стратегии противника |                |                |                |                |   |
| 4 |                     |                      | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> |   |
| 5 | A <sub>1</sub>      | 0,85                 | 0,67           | 0,75           | 0,82           |                |   |
| 6 | A <sub>2</sub>      | 0,77                 | 0,89           | 0,7            | 0,93           |                |   |
| 7 | A <sub>3</sub>      | 0,93                 | 0,78           | 0,56           | 0,66           |                |   |
| 8 |                     |                      |                |                |                |                |   |

Рис. 9.7. Платежная матрица игры

Алгоритм, описанный выше, иллюстрируется на рис. 9.8, где при определении номера своей стратегии противник минимизирует значения ячеек  $B_1 : B_4$ , а технолог максимизирует построчные значения ячеек  $A_1 : A_3$ .

|    |                                 |                       |   |  |                               |                |                |                        |                     |                |                |                  |                   |                   |
|----|---------------------------------|-----------------------|---|--|-------------------------------|----------------|----------------|------------------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 9  | Количество стратегий противника |                       | 4 |  | Первым ходит технолог         |                |                |                        |                     |                |                |                  |                   |                   |
| 10 | Количество стратегий игрока     |                       | 3 |  |                               |                |                |                        |                     |                |                |                  |                   |                   |
| 12 |                                 |                       |   |  | Накопленный выигрыш технолога |                |                |                        |                     |                |                |                  |                   |                   |
| 13 | № партии                        | № стратегии технолога |   |  |                               |                |                | № стратегии противника | Накопленный выигрыш |                |                |                  |                   |                   |
| 14 |                                 |                       |   |  | V <sub>1</sub>                | V <sub>2</sub> | V <sub>3</sub> | V <sub>4</sub>         | A <sub>1</sub>      | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | V <sub>ниж</sub> | V <sub>сред</sub> | V <sub>верх</sub> |
| 15 |                                 |                       |   |  | 1                             | 2              | 3              | 4                      | 1                   | 2              | 3              | Цена игры        |                   |                   |
| 16 |                                 |                       |   |  | 0,77                          | 0,89           | 0,7            | 0,93                   | 0,75                | 0,7            | 0,56           | 0,7              | 0,725             | 0,75              |
| 17 |                                 |                       |   |  | 1,62                          | 1,56           | 1,45           | 1,75                   | 1,5                 | 1,4            | 1,12           | 0,73             | 0,74              | 0,75              |
| 18 |                                 |                       |   |  | 2,47                          | 2,23           | 2,2            | 2,57                   | 2,25                | 2,1            | 1,68           | 0,73             | 0,74              | 0,75              |
| 19 |                                 |                       |   |  | 3,24                          | 3,12           | 2,9            | 3,5                    | 3                   | 2,8            | 2,24           | 0,72             | 0,80              | 0,87              |
| 20 |                                 |                       |   |  | 4,09                          | 3,79           | 3,65           | 4,32                   | 3,75                | 3,5            | 2,8            | 0,73             | 0,74              | 0,75              |
| 21 |                                 |                       |   |  | 4,94                          | 4,46           | 4,4            | 5,14                   | 4,5                 | 4,2            | 3,36           | 0,73             | 0,74              | 0,75              |
| 22 |                                 |                       |   |  | 5,71                          | 5,35           | 5,1            | 6,07                   | 5,25                | 4,9            | 3,92           | 0,73             | 0,74              | 0,75              |
| 23 |                                 |                       |   |  | 6,56                          | 6,02           | 5,85           | 6,89                   | 6                   | 5,6            | 4,48           | 0,73             | 0,74              | 0,75              |

Рис. 9.8. Фрагмент таблицы результатов вычислительного эксперимента

На рис. 9.9 приведены формулы, содержащиеся в ячейках D16 : H27, по которым определяется номер стратегии противника, и в ячейках I16 : L27 для определения номера стратегии технолога.

|    |                         |   |   |   |   |                  |                   |                   |
|----|-------------------------|---|---|---|---|------------------|-------------------|-------------------|
|    | C                       | D   | E   | F   | G   | H                |                   |                   |
| 11 |                         |   |   |   |   |                  |                   |                   |
| 12 | № партии                | № стратегии технолога                     | Накопленный выигрыш технолога             |   |   |                  |                   |                   |
| 13 |                         |   | V <sub>1</sub>                            | V <sub>2</sub>                            | V <sub>3</sub>                            | V <sub>4</sub>   |                   |                   |
| 14 |                         |   | 1   | 2   | 3   | 4                |                   |                   |
| 15 | 1                       | 2   | =C6                                       | =D6                                       | =E6                                       | =F6              |                   |                   |
| 16 | =НомерМаксимум(J15:L15) | =E15+MatrixA(\$D16:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F15+MatrixA(\$D16:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G15+MatrixA(\$D16:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H15+MatrixA(\$D16:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 17 | =НомерМаксимум(J16:L16) | =E16+MatrixA(\$D17:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F16+MatrixA(\$D17:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G16+MatrixA(\$D17:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H16+MatrixA(\$D17:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 18 | =НомерМаксимум(J17:L17) | =E17+MatrixA(\$D18:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F17+MatrixA(\$D18:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G17+MatrixA(\$D18:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H17+MatrixA(\$D18:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 19 | =НомерМаксимум(J18:L18) | =E18+MatrixA(\$D19:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F18+MatrixA(\$D19:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G18+MatrixA(\$D19:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H18+MatrixA(\$D19:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 20 | =НомерМаксимум(J19:L19) | =E19+MatrixA(\$D20:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F19+MatrixA(\$D20:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G19+MatrixA(\$D20:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H19+MatrixA(\$D20:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 21 | =НомерМаксимум(J20:L20) | =E20+MatrixA(\$D21:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F20+MatrixA(\$D21:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G20+MatrixA(\$D21:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H20+MatrixA(\$D21:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 22 | =НомерМаксимум(J21:L21) | =E21+MatrixA(\$D22:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F21+MatrixA(\$D22:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G21+MatrixA(\$D22:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H21+MatrixA(\$D22:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 23 | =НомерМаксимум(J22:L22) | =E22+MatrixA(\$D23:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F22+MatrixA(\$D23:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G22+MatrixA(\$D23:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H22+MatrixA(\$D23:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 24 | =НомерМаксимум(J23:L23) | =E23+MatrixA(\$D24:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F23+MatrixA(\$D24:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G23+MatrixA(\$D24:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H23+MatrixA(\$D24:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 25 | =НомерМаксимум(J24:L24) | =E24+MatrixA(\$D25:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F24+MatrixA(\$D25:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G24+MatrixA(\$D25:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H24+MatrixA(\$D25:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 26 | =НомерМаксимум(J25:L25) | =E25+MatrixA(\$D26:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F25+MatrixA(\$D26:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G25+MatrixA(\$D26:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H25+MatrixA(\$D26:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
| 27 | =НомерМаксимум(J26:L26) | =E26+MatrixA(\$D27:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =F26+MatrixA(\$D27:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =G26+MatrixA(\$D27:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =H26+MatrixA(\$D27:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7) |                  |                   |                   |
|    | I                       | J   | K   | L   | M   | N                |                   |                   |
| 11 |                         |   |   |   |   |                  |                   |                   |
| 12 | № стратегии противника  | Накопленный выигрыш противника            |   |   |   | V <sub>ниж</sub> | V <sub>сред</sub> | V <sub>верх</sub> |
| 13 |                         | A <sub>1</sub>                            | A <sub>2</sub>                            | A <sub>3</sub>                            |   |                  |                   |                   |
| 14 |                         | 1   | 2   | 3   | Цена игры                                 |                  |                   |                   |
| 15 | =НомерМинимум(E15:H15)  | =E5                                       | =F5                                       | =G5                                       | =МИН(\$E15:\$H15)C15                      | =M15+O15Y2       | =МАКС(\$J16       |                   |
| 16 | =НомерМинимум(E16:H16)  | =J16+MatrixB(\$I16:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K16+MatrixB(\$I16:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L16+MatrixB(\$I16:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E16:\$H16)C16                      | =M16+O16Y2       | =МАКС(\$J16       |                   |
| 17 | =НомерМинимум(E17:H17)  | =J17+MatrixB(\$I17:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K17+MatrixB(\$I17:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L17+MatrixB(\$I17:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E17:\$H17)C17                      | =M17+O17Y2       | =МАКС(\$J17       |                   |
| 18 | =НомерМинимум(E18:H18)  | =J18+MatrixB(\$I18:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K18+MatrixB(\$I18:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L18+MatrixB(\$I18:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E18:\$H18)C18                      | =M18+O18Y2       | =МАКС(\$J18       |                   |
| 19 | =НомерМинимум(E19:H19)  | =J19+MatrixB(\$I19:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K19+MatrixB(\$I19:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L19+MatrixB(\$I19:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E19:\$H19)C19                      | =M19+O19Y2       | =МАКС(\$J19       |                   |
| 20 | =НомерМинимум(E20:H20)  | =J20+MatrixB(\$I20:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K20+MatrixB(\$I20:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L20+MatrixB(\$I20:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E20:\$H20)C20                      | =M20+O20Y2       | =МАКС(\$J20       |                   |
| 21 | =НомерМинимум(E21:H21)  | =J21+MatrixB(\$I21:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K21+MatrixB(\$I21:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L21+MatrixB(\$I21:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E21:\$H21)C21                      | =M21+O21Y2       | =МАКС(\$J21       |                   |
| 22 | =НомерМинимум(E22:H22)  | =J22+MatrixB(\$I22:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K22+MatrixB(\$I22:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L22+MatrixB(\$I22:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E22:\$H22)C22                      | =M22+O22Y2       | =МАКС(\$J22       |                   |
| 23 | =НомерМинимум(E23:H23)  | =J23+MatrixB(\$I23:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K23+MatrixB(\$I23:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L23+MatrixB(\$I23:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E23:\$H23)C23                      | =M23+O23Y2       | =МАКС(\$J23       |                   |
| 24 | =НомерМинимум(E24:H24)  | =J24+MatrixB(\$I24:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K24+MatrixB(\$I24:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L24+MatrixB(\$I24:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E24:\$H24)C24                      | =M24+O24Y2       | =МАКС(\$J24       |                   |
| 25 | =НомерМинимум(E25:H25)  | =J25+MatrixB(\$I25:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K25+MatrixB(\$I25:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L25+MatrixB(\$I25:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E25:\$H25)C25                      | =M25+O25Y2       | =МАКС(\$J25       |                   |
| 26 | =НомерМинимум(E26:H26)  | =J26+MatrixB(\$I26:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K26+MatrixB(\$I26:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L26+MatrixB(\$I26:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E26:\$H26)C26                      | =M26+O26Y2       | =МАКС(\$J26       |                   |
| 27 | =НомерМинимум(E27:H27)  | =J27+MatrixB(\$I27:\$J\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =K27+MatrixB(\$I27:\$K\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =L27+MatrixB(\$I27:\$L\$14:\$C\$5:\$F\$7) | =МИН(\$E27:\$H27)C27                      | =M27+O27Y2       | =МАКС(\$J27       |                   |

Рис. 9.9. Фрагменты таблицы с формулами в ячейках D16 : H27 и I16 : L27

Чтобы обеспечить читаемость формул рис. 9.9, ниже приводятся построчные значения таблицы, например, для каждого столбца 16 строки (вторая партия игры) при определении стратегии технолога и стратегии противника.

#### Листинг 9.4. Определение номера стратегии технолога

=НомерМаксимум(J15:L15)

#### Листинг 9.5. Формирование накопленного выигрыша технолога

=E15+MatrixA(\$D16:\$E\$14:\$C\$5:\$F\$7)

=F15+MatrixA(\$D16:\$F\$14:\$C\$5:\$F\$7)

=G15+MatrixA(\$D16:\$G\$14:\$C\$5:\$F\$7)

=H15+MatrixA(\$D16:\$H\$14:\$C\$5:\$F\$7)



**Листинг 9.6. Определение номера стратегии противника**

```
=НомерМинимума ( E16:H16 )
```

**Листинг 9.7. Формирование накопленного выигрыша противника**

```
=J15+matrixB($I16;$J$14;$C$5:$F$7)  
=K15+matrixB($I16;$K$14;$C$5:$F$7)  
=L15+matrixB($I16;$L$14;$C$5:$F$7)
```

**Листинг 9.8. Определение цены игры**

```
=МИН($E16:$H16)/C16  
=(M16+O16)/2  
=МАКС($J16:$L16)/C16
```

Для определения номера стратегии, обеспечивающего максимальный выигрыш для технолога, необходимо средствами VBA создать функцию пользователя.

**Листинг 9.9. Функция пользователя для определения номера стратегии технолога**

```
Function НомерМаксимумa(rng As Range) As Integer  
    Dim max As Integer  
    Dim i As Integer  
    Dim Number As Integer  
    max = rng.Cells(1, 1).Value  
    Number = 1  
    For i = 1 To rng.Cells.Columns.Count  
        If rng.Cells(1, i).Value > max Then  
            max = rng.Cells(1, i).Value  
            Number = i  
        End If  
    Next  
    НомерМаксимумa = Number  
End Function
```

Для определения номера стратегии, обеспечивающего минимальный проигрыш для противника, необходимо средствами VBA создать еще одну функцию пользователя (листинг 9.10).

**Листинг 9.10. Функция пользователя для определения номера стратегии сознательного противника**

```
Function НомерМинимумa(rng As Range) As Integer  
    Dim max As Integer  
    Dim i As Integer  
    Dim Number As Integer  
    Min = rng.Cells(1, 1).Value  
    Number = 1  
    For i = 1 To rng.Cells.Columns.Count  
        If rng.Cells(1, i).Value < Min Then  
            Min = rng.Cells(1, i).Value  
            Number = i  
        End If  
    Next  
    НомерМинимумa = Number
```

End Function

Для транспонирования платежной матрицы необходимы еще две функции.

**Листинг 9.11. Функции пользователя для транспонирования платежной матрицы**

```
Function MatrixB(sNr As Integer, sCl As Integer, Matrix As Range) As Single
```

```
MatrixB = Matrix.Cells(sCl, sNr).Value
```

```
End Function
```

```
Function MatrixA(sNr As Integer, sCl As Integer, Matrix As Range) As Single
```

```
MatrixA = Matrix.Cells(sNr, sCl).Value
```

```
End Function
```

После проведения вычислительного эксперимента по описанному алгоритму получен следующий результат (рис. 9.10).

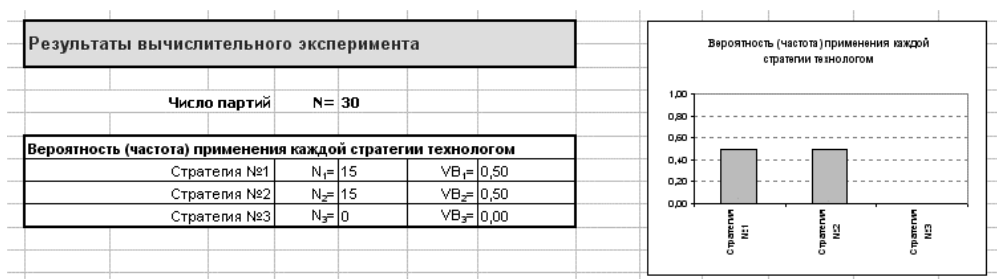


Рис. 9.10. Решение матричной игры методом итераций

В результате работы программы методом итераций получено решение матричной игры в смешанных стратегиях: технолог должен из 100 партий в 50 случаях придерживаться первой стратегии, и в 50 случаях второй, третью стратегию применять нельзя. Выбор очередного хода должен быть строго рандомизирован. Расчетная цена игры составляет 0,72 (выход продукции из единицы сырья может быть принят 72%).

**9.4.4.1. Решение парной матричной игры с несознательным противником методом итераций.** В предыдущем параграфе описана игра, в которой теоретически исключаются ошибочные ходы как одного, так и другого противника. Поэтому вычисленная цена игры может рассматриваться как минимальная (самая осторожная) оценка из всех допустимых значений рассматриваемого параметра. Использование оптимальных ходов обоими сознательными противниками снимает значительную часть неопределенности, поскольку можно предсказать очередное действие каждого. Игра

против несознательного противника («природы») предусматривает случайный выбор своей стратегии. Поэтому достаточно много ходов противника не являются наилучшим выбором в сложившейся ситуации. Отсюда можно сделать обоснованное предположение, что накопленный средний выигрыш (цена игры) окажется выше, чем при игре с сознательным противником. Следовательно, в техническое задание по разработке технологического режима можно внести откорректированные требования по степени экологичности, ресурсосбережению и расчетной прибыли от его реализации.

Программно задача решается по такому же алгоритму, как и в игре против сознательного противника, только во все строки столбца П16 : П44 электронной таблицы, приведенной на рис. 9.6, помещается одинаковая формула случайного выбора номера стратегии противника по механизму генерирования нормально распределенных случайных целых чисел от 1 до 4 (рис. 9.11).

**Листинг 9.12. Определение номера стратегии несознательного противника**  
=ЦЕЛОЕ ( СЛЧИС ( ) \* 4 ) + 1

На рис. 9.12 представлен один из возможных вариантов протокола игры. Как видно из рисунка, выбор очередного хода противника осуществляется случайно, без учета предыстории игры. В то время как технолог выбирает такую свою стратегию, которая максимизирует его выигрыш в сложившихся обстоятельствах.

При анализе рис. 9.12 бросается в глаза большой диапазон значений нижней и верхней цены игры. Значит, в проект можно закладывать ожидаемое значение выхода продукта из единицы сырья в пределах 0,74–0,79, что значительно превышает рекомендации по результатам игры с сознательным противником. Естественно, что с учетом фактора случайности результаты будут несколько отличаться при каждом запуске программы. Поэтому конечные выводы нужно формулировать после 10–15 запусков программы.

|    | B                                       | C   | D                     | E                             | F        | G        | H        | I                      | J                   | K        | L        | M                | N                  | O           |
|----|---|---|-----------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|------------------------|---------------------|----------|----------|------------------|--------------------|-------------|
| 11 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 12 |   | № партии  | № стратегии технолога | Накопленный выигрыш технолога |          |          |          | № стратегии противника | Накопленный выигрыш |          |          | $V_{нак}$        | $V_{сред}$         | $V_{макс}$  |
| 13 |   |   |                       | $V_1$                         | $V_2$    | $V_3$    | $V_4$    |                        | $A_1$               | $A_2$    | $A_3$    |                  |                    |             |
| 14 |   |   |                       | <b>1</b>                      | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |                        | <b>1</b>            | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>Цена игры</b> |                    |             |
| 15 |   | 1   | 2                     | 0,77                          | 0,89     | 0,7      | 0,83     | 1                      | 0,85                | 0,77     | 0,93     | <b>0,7</b>       | <b>0,815000004</b> | <b>0,93</b> |
| 16 |   | 2   | 1                     | 1,62                          | 1,56     | 1,45     | 1,65     | 1                      | 1,51                | 1,54     | 1,86     | <b>0,73</b>      | <b>0,83</b>        | <b>0,93</b> |
| 17 |   | 3   | 1                     | 2,47                          | 2,23     | 2,2      | 2,47     | 2                      | 2,18                | 2,43     | 2,64     | <b>0,73</b>      | <b>0,81</b>        | <b>0,88</b> |
| 18 |   | 4   | 3                     | 3,4                           | 3,01     | 2,76     | 3,13     | 2                      | 2,85                | 3,32     | 3,42     | <b>0,69</b>      | <b>0,77</b>        | <b>0,85</b> |
| 19 |   | 5   | 3                     | 4,33                          | 3,79     | 3,32     | 3,79     | 3                      | 3,6                 | 4,02     | 3,98     | <b>0,66</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,80</b> |
| 20 |   | 6   | 2                     | 5,1                           | 4,68     | 4,02     | 4,62     | 3                      | 4,35                | 4,72     | 4,54     | <b>0,67</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,79</b> |
| 21 |   | 7   | 2                     | 5,87                          | 5,57     | 4,72     | 5,45     | 3                      | 5,1                 | 5,42     | 5,1      | <b>0,67</b>      | <b>0,72</b>        | <b>0,77</b> |
| 22 |   | 8   | 3                     | 6,8                           | 6,35     | 5,28     | 6,11     | 1                      | 5,95                | 6,19     | 6,03     | <b>0,66</b>      | <b>0,72</b>        | <b>0,77</b> |
| 23 |   | 9   | 3                     | 7,73                          | 7,13     | 5,84     | 6,77     | 3                      | 6,7                 | 6,89     | 6,59     | <b>0,65</b>      | <b>0,71</b>        | <b>0,77</b> |
| 24 |   | 10  | 1                     | 8,58                          | 7,8      | 6,59     | 7,59     | 1                      | 7,55                | 7,66     | 7,52     | <b>0,66</b>      | <b>0,71</b>        | <b>0,77</b> |
| 25 |   | 11  | 1                     | 9,43                          | 8,47     | 7,24     | 8,41     | 3                      | 8,3                 | 8,36     | 8,08     | <b>0,67</b>      | <b>0,71</b>        | <b>0,76</b> |
| 26 |   | 12  | 3                     | 10,36                         | 9,25     | 7,9      | 9,07     | 2                      | 8,97                | 9,25     | 8,86     | <b>0,66</b>      | <b>0,71</b>        | <b>0,77</b> |
| 27 |   | 13  | 2                     | 11,13                         | 10,14    | 8,6      | 9,9      | 4                      | 9,79                | 10,08    | 9,52     | <b>0,66</b>      | <b>0,72</b>        | <b>0,78</b> |
| 28 |   | 14  | 2                     | 11,9                          | 11,03    | 9,3      | 10,73    | 4                      | 10,61               | 10,91    | 10,18    | <b>0,66</b>      | <b>0,72</b>        | <b>0,78</b> |
| 29 |   | 15  | 1                     | 12,75                         | 11,7     | 10,05    | 11,55    | 4                      | 11,43               | 11,74    | 10,84    | <b>0,67</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,78</b> |
| 30 |   | 16  | 2                     | 13,52                         | 12,59    | 10,75    | 12,38    | 4                      | 12,25               | 12,57    | 11,5     | <b>0,67</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,79</b> |
| 31 |   | 17  | 2                     | 14,29                         | 13,48    | 11,45    | 13,21    | 4                      | 13,07               | 13,4     | 12,16    | <b>0,67</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,79</b> |
| 32 |   | 18  | 2                     | 15,06                         | 14,37    | 12,15    | 14,04    | 1                      | 13,92               | 14,17    | 13,09    | <b>0,67</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,79</b> |
| 33 |   | 19  | 2                     | 15,83                         | 15,26    | 12,85    | 14,87    | 4                      | 14,74               | 15       | 13,75    | <b>0,68</b>      | <b>0,73</b>        | <b>0,79</b> |
| 34 |   | 20  | 1                     | 16,68                         | 15,93    | 13,6     | 15,69    | 4                      | 15,56               | 15,83    | 14,41    | <b>0,68</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 35 |   | 21  | 1                     | 17,53                         | 16,6     | 14,35    | 16,51    | 1                      | 16,41               | 16,6     | 15,34    | <b>0,68</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 36 |   | 22  | 2                     | 18,3                          | 17,49    | 15,05    | 17,34    | 3                      | 17,16               | 17,3     | 15,9     | <b>0,68</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 37 |   | 23  | 2                     | 19,07                         | 18,38    | 15,75    | 18,17    | 1                      | 18,01               | 18,07    | 16,83    | <b>0,68</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 38 |   | 24  | 2                     | 19,84                         | 19,27    | 16,45    | 19       | 1                      | 18,86               | 18,84    | 17,76    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 39 |   | 25  | 1                     | 20,69                         | 19,94    | 17,2     | 19,82    | 1                      | 19,71               | 19,61    | 18,69    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 40 |   | 26  | 1                     | 21,54                         | 20,61    | 17,95    | 20,64    | 3                      | 20,46               | 20,31    | 19,25    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 41 |   | 27  | 2                     | 22,31                         | 21,5     | 18,65    | 21,47    | 3                      | 21,21               | 21,01    | 19,81    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 42 |   | 28  | 2                     | 23,08                         | 22,39    | 19,35    | 22,3     | 3                      | 21,96               | 21,71    | 20,37    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,78</b> |
| 43 |   | 29  | 1                     | 23,93                         | 23,06    | 20,1     | 23,12    | 1                      | 22,81               | 22,48    | 21,3     | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 44 |   | 30  | 1                     | 24,78                         | 23,73    | 20,85    | 23,94    | 4                      | 23,63               | 23,31    | 21,96    | <b>0,69</b>      | <b>0,74</b>        | <b>0,79</b> |
| 45 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 46 | Результаты вычислительного эксперимента |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 47 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 48 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 49 |   | Число партий N=30   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 50 |   | Вероятность (частота) применения каждой стратегии противником |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 51 |   | Стратегия №1  | $N_1=10$              | $VB_1=0,33$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 52 |   | Стратегия №2  | $N_2=3$               | $VB_2=0,10$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 53 |   | Стратегия №3  | $N_3=9$               | $VB_3=0,30$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 54 |   | Стратегия №4  | $N_4=8$               | $VB_4=0,27$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 55 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 56 |   | Вероятность (частота) применения каждой стратегии технологом  |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 57 |   | Стратегия №1  | $N_1=11$              | $VB_1=0,37$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 58 |   | Стратегия №2  | $N_2=14$              | $VB_2=0,47$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 59 |   | Стратегия №3  | $N_3=5$               | $VB_3=0,17$                   |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 60 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |
| 61 |   |   |                       |                               |          |          |          |                        |                     |          |          |                  |                    |             |

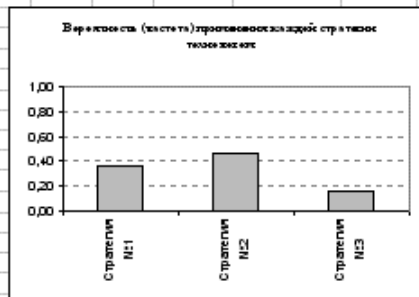


Рис. 9.11. Общий вид книги рабочего листа для решения матричной игры с несознательным противником методом итераций

|    |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
|----|---|---|----------|-------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|------|------|------|--|
| 40 | 26                                      | 1   | 21,54    | 20,61       | 17,95 | 20,64 | 3 | 20,46 | 20,31 | 19,25 | 0,69 | 0,74 | 0,79 |  |
| 41 | 27                                      | 2   | 22,31    | 21,5        | 18,65 | 21,47 | 3 | 21,21 | 21,01 | 19,81 | 0,69 | 0,74 | 0,79 |  |
| 42 | 28                                      | 2   | 23,08    | 22,39       | 19,35 | 22,3  | 3 | 21,96 | 21,71 | 20,37 | 0,69 | 0,74 | 0,78 |  |
| 43 | 29                                      | 1   | 23,93    | 23,06       | 20,1  | 23,12 | 1 | 22,81 | 22,48 | 21,3  | 0,69 | 0,74 | 0,79 |  |
| 44 | 30                                      | 1   | 24,78    | 23,73       | 20,85 | 23,94 | 4 | 23,63 | 23,31 | 21,96 | 0,69 | 0,74 | 0,79 |  |
| 45 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 46 | Результаты вычислительного эксперимента |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 47 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 48 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 49 |   | Число партий N=30   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 50 |   | Вероятность (частота) применения каждой стратегии противником |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 51 |   | Стратегия №1  | $N_1=10$ | $VB_1=0,33$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 52 |   | Стратегия №2  | $N_2=3$  | $VB_2=0,10$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 53 |   | Стратегия №3  | $N_3=9$  | $VB_3=0,30$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 54 |   | Стратегия №4  | $N_4=8$  | $VB_4=0,27$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 55 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 56 |   | Вероятность (частота) применения каждой стратегии технологом  |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 57 |   | Стратегия №1  | $N_1=11$ | $VB_1=0,37$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 58 |   | Стратегия №2  | $N_2=14$ | $VB_2=0,47$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 59 |   | Стратегия №3  | $N_3=5$  | $VB_3=0,17$ |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 60 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |
| 61 |   |   |          |             |       |       |   |       |       |       |      |      |      |  |

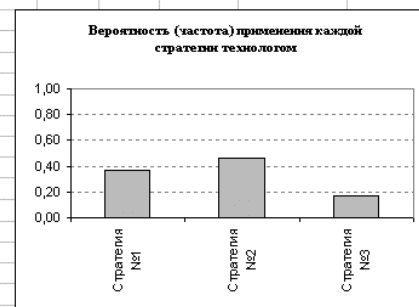


Рис. 9.12. Фрагмент книги рабочего листа с результатами вычислительного эксперимента решения матричной игры с несознательным противником

## **9.5. Логические модели химико-технологических систем**

### **9.5.1. Основы математической логики**

Основы логики, науки о законах и формах человеческого мышления, были заложены величайшим древнегреческим философом Аристотелем (384–322 гг. до н. э.), который в своих трактатах обстоятельно исследовал терминологию логики, подробно разобрал теорию умозаключений и доказательств, описал ряд логических операций, сформулировал основные законы мышления, в том числе законы противоречия и исключения третьего. Вклад Аристотеля в логику весьма велик, недаром другое ее название – аристотелева логика.

Еще сам Аристотель заметил, что между созданной им наукой и математикой (тогда она именовалась арифметикой) много общего. Он пытался соединить две эти науки, свести размышление, или, вернее, умозаключение, к вычислению на основании исходных положений. В одном из своих трактатов Аристотель вплотную приблизился к одному из разделов математической логики – теории доказательств.

В дальнейшем многие философы и математики развивали отдельные положения логики и иногда даже намечали контуры современного исчисления высказываний. Но ближе всех к созданию математической логики подошел уже во второй половине XVII века выдающийся немецкий ученый Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646–1716), указавший пути для перевода логики «из словесного царства, полного неопределенностей, в царство математики, где отношения между объектами или высказываниями определяются совершенно точно». Лейбниц надеялся даже, что в будущем философы, вместо того чтобы бесплодно спорить, станут брать бумагу и вычислять, кто из них прав. При этом в своих работах Лейбниц затрагивал и двоичную систему счисления.

Следует отметить, что идея использования двух символов для кодирования информации очень стара. Австралийские аборигены считали двойками, некоторые племена охотников-сборщиков Новой Гвинеи и Южной Америки тоже пользовались двоичной системой счета. В некоторых африканских племенах передают сообщения с помощью барабанов в виде комбинаций звонких и глухих ударов. Знакомый всем пример двухсимвольного кодирования – азбука Морзе, где буквы алфавита представлены определенными сочетаниями точек и тире. После Лейбница исследования в этой области вели многие выдающиеся ученые, однако настоящий успех пришел здесь к английскому математику-самоучке Джорджу Булю

(1815–1864), целеустремленность которого не знала границ. Материальное положение родителей Джорджа (отец которого был сапожным мастером) позволило ему окончить лишь начальную школу для бедняков. Спустя какое-то время Буль, сменив несколько профессий, открыл маленькую школу, где сам преподавал. Он много времени уделял самообразованию и вскоре увлекся идеями символической логики. В 1847 году Буль опубликовал статью «Математический анализ логики, или Опыт исчисления дедуктивных умозаключений», а в 1854 году появился главный его труд «Исследование законов мышления, на которых основаны математические теории логики и вероятностей». Буль изобрел своеобразную алгебру – систему обозначений и правил, применимую ко всевозможным объектам, от чисел и букв до предложений. Пользуясь этой системой, он мог закодировать высказывания (утверждения, истинность или ложность которых требовалось доказать) с помощью символов своего языка, а затем манипулировать ими, подобно тому, как в математике манипулируют числами. Основными операциями булевой алгебры являются конъюнкция (И), дизъюнкция (ИЛИ) и отрицание (НЕ). Через некоторое время стало понятно, что система Буля хорошо подходит для описания электрических переключательных схем. Ток в цепи может либо протекать, либо отсутствовать, подобно тому, как утверждение может быть либо истинным, либо ложным. А еще несколько десятилетий спустя, уже в XX столетии, ученые объединили созданный Джорджем Булем математический аппарат с двоичной системой счисления, заложив тем самым основы для разработки цифрового электронного компьютера. Отдельные положения работ Буля в той или иной мере затрагивались и до, и после него другими математиками и логиками. Однако и сегодня труды Джорджа Буля причисляются к математической классике, а сам он по праву считается основателем математической логики и тем более важнейших ее разделов – алгебры логики (булевой алгебры) и алгебры высказываний.

Рассуждения в математической логике изучаются с точки зрения формы описания процесса, явления или события и формального преобразования этого описания. Такой процесс называют *выводом заключения*. Иногда математическое описание рассуждений называют логико-математическим моделированием.

Основными объектами при изучении математической логики являются формальный язык логики и правила вывода. Формальный язык необходим для символического описания процессов, явлений или событий

и логических связей между ними. Правила вывода необходимы для формирования процедуры рассуждения. Для обеспечения вывода вводится система аксиом, формализующая весь механизм вывода заключения.

Математическое описание логики следует воспринимать как некую формальную систему, оперирующую с символами по определенным правилам, облегчающим интерпретацию в реальном мире.

Выделяют несколько типов математических моделей формальной логики. Среди них можно выделить Логику высказываний, Логику предикатов, Логику нечетких множеств и отношений, Реляционную логику и др.

Логика высказываний (*propositional calculus*) есть модель формальной системы, предметом которой являются высказывания или повествовательные предложения, взятые целиком без учета их внутренней структуры.

Логика предикатов (*predicate calculus*) есть модель формальной системы, предметом которой являются повествовательные предложения с учетом их внутренних состава и структуры.

Логика нечетких множеств и отношений (*fuzzi calculus*) есть модель формальной системы, предметом которой являются повествовательные предложения с учетом их внутренних состава и структуры и при нечетком (размытом) задании характерных признаков отдельных элементов или отношений между ними.

Логика реляционная (*relation calculus*) есть модель формальной системы, предметом которой являются отношения в виде множества однородных повествовательных предложений, существенно расширяющие логику предикатов.

### **9.5.2. Логика высказываний**

Исходным понятием математической логики является «высказывание». Поэтому любое повествовательное предложение, которое может быть признано истинным или ложным, называют *высказыванием*. Логическим значением высказывания являются «истина» или «ложь».

Например, повествовательное предложение «3 есть простое число» является истинным, а «3,14... – рациональное число» – ложным, «Колумб открыл Америку» – истинным, а «Киев – столица Узбекистана» – ложным, «число 6 делится на 2 и на 3» – истинным, а «сумма чисел 2 и 3 равна 6» – ложным и т. п.

Такие высказывания называют простыми, или элементарными.

При формальном исследовании сложных текстов понятие «простые высказывания» замещают понятием «пропозициональные переменные» (от лат. *propositio* – предложение), которые обозначают прописными буквами латинского алфавита «А», «В», «С», ... . Истинность или ложность высказывания будем отмечать символами «и» – истина или «л» – ложь.

Примечание: вспомним, что символ «:=» означает присвоение значения высказывания, стоящего справа от символа, пропозициональной переменной, стоящей слева.

Высказывания, которые получаются из простых предложений с помощью грамматических связок «не», «и», «или», «если..., то...», «... тогда и только тогда, когда...», называют сложными, или составными. Для обозначения грамматических связок вводят символы, которые называют логическими (или пропозициональными) связками. Например,  $\vee$  = «или»,  $\wedge$  = «и»,  $\neg$  = «не»,  $\rightarrow$  = «если..., то...»,  $\leftrightarrow$  = «...тогда и только тогда, когда ...».

Для построения сложных пропозициональных высказываний используют вспомогательные символы «(», «)» – скобки.

Правила построения сложных высказываний в виде последовательности пропозициональных переменных, логических связок и вспомогательных символов определяют возможность формального описания любого текста.

При формальной записи сложного высказывания всегда нужно исходить из его содержания. До тех пор пока не определена логическая структура сложного высказывания, его нельзя формально описывать.

Правила исполнения логических операций над сложными высказываниями на основе заданных логических связок и пропозициональных переменных формирует алгебру высказываний.

Правила вывода новых высказываний, основанные на известных отношениях между заданными пропозициональным переменными, формируют исчисление высказываний. Высказывания, из которых делают вывод новых высказываний, называют *посылками*, а получаемое высказывание – *заключением*.

Математическая логика рассматривает формальный способ рассуждения, встречающийся не только в математике, но и в повседневной жизни.

### **9.5.3. Алгебра высказываний**

Множество пропозициональных переменных с заданными над ним логическими операциями формируют алгебру высказываний.



Всякое сложное высказывание, которое может быть получено из элементарных высказываний посредством применения логических связок отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликации и эквиваленции, называют *формулой* алгебры логики.

Любую пропозициональную переменную можно назвать формулой нулевого порядка, т. е.  $A_i = F_i$ .

Если  $F_1$  и  $F_2$  – пропозициональные формулы, то  $\neg F_1$ ;  $\neg F_2$ ;  $F_1 \wedge F_2$ ;  $F_1 \vee F_2$ ;  $F_1 \rightarrow F_2$  и  $F_1 \leftrightarrow F_2$  также пропозициональные формулы.

Никаких других формул в исчислении высказываний нет.

Множество формул образуют язык математической логики. Это множество перечислимо и разрешимо.

Для формирования сложных формул используют вспомогательные символы «(» и «)».

#### 9.5.4 Логические операции

Логическая связка указывает на необходимость исполнения логической операции над пропозициональными переменными или формулами, окружающими логическую связку.

Логические операции бывают унарные (или одноместные) и бинарные (или двухместные). Этому отвечает наличие одного или двух операндов у данной операции.

Значение формулы полностью определяется значениями входящих в нее пропозициональных переменных.

**Отрицание** есть одноместная операция, посредством которой ее значение есть отрицание значения операнда. В программировании для этого используют оператор NOT:

NOT  $F$  истинно тогда и только тогда, когда  $F$  ложно.

На естественном языке эта операция определяет высказывание «неверно, что  $F$  истинно (ложно)».

**Конъюнкция** есть двухместная операция, посредством которой из двух формул  $F_1$  и  $F_2$  получают новую формулу  $F = F_1 \wedge F_2$ , описывающую сложное высказывание. Значение этого высказывания истинно тогда и только тогда, когда истинны значения двух операндов  $F_1$  и  $F_2$ .

В программировании для этого используют оператор AND:

$F_1$  AND  $F_2$  истинно тогда и только тогда, когда истинны  $F_1$  и  $F_2$ .

Из определения операций конъюнкции и отрицания очевидно, что  $(F \wedge \neg F) = \text{л}$ .

Если даны формулы  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , то истинное значение формулы  $F = F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n$  определяется истинностью всех формул  $F_1, F_2, \dots, F_n$ .

На естественном языке эта операция выражается

соединительными словами: «и», «также», «как ..., так ...», «несмотря на» и т. п.

**Дизъюнкция** ( $F_1 \vee F_2$ ) есть двухместная операция, посредством которой из двух формул  $F_1$  и  $F_2$  получают новую формулу  $F = F_1 \vee F_2$ , описывающую сложное высказывание. Значение этого высказывания ложно тогда и только тогда, когда ложны значения двух операндов  $F_1$  или  $F_2$ .

В программировании для этого используют оператор OR:

$F_1$  OR  $F_2$  ложно тогда и только тогда, когда ложны  $F_1$  и  $F_2$ .

Из определения операций дизъюнкции и отрицания очевидно, что  $(F \vee \neg F) = \text{и}$ .

Если даны формулы  $F_1, F_2, \dots, F_n$ , то истинностное значение формулы  $F = F_1 \vee F_2 \vee \dots \vee F_n$  определяется истинностью хотя бы одной формулы  $F_1, F_2, \dots, F_n$ .

В естественном языке эта операция выражается разъединительными словами «или», «либо» и т. п. Следует обратить внимание, что в повседневной речи союз «или» употребляется в двух смыслах: «исключающее или», когда истинность составного высказывания определяется истинностью только одного из высказываний, и «не исключаящее или», когда истинность составного высказывания определяется истинностью хотя бы одного из высказываний.

**Импликация** ( $F_1 \rightarrow F_2$ ) есть двухместная операция, посредством которой из формул  $F_1$  и  $F_2$  получают новую формулу  $F = (F_1 \rightarrow F_2)$ , отражающую сложное высказывание. Значение этого высказывания ложно тогда и только тогда, когда истинно значение  $F_1$  и ложно  $F_2$ .

В программировании для этого используют оператор IMPLIES:  $F_1$  IMPLIES  $F_2$  ложно тогда и только тогда, когда  $F_1$  истинно, а  $F_2$  ложно.

Импликация играет особую роль в математической логике, так как многие доказательства представляются в условной форме «если..., то...». При этом из истинности посылки ( $F_1$ ) и истинности импликации ( $F_1 \rightarrow F_2$ ) следует истинность заключения  $F_2$ .

На естественном языке эта операция выражается словами «если ..., то ...», «тогда ..., когда ...», «постольку ..., поскольку ...», «при наличии ..., следует ...», «... есть достаточное условие для ...», «... есть необходимое условие для ...», «... при условии, что ...» и т. п.

Употребление в повседневной речи слов «если ..., то ...» несколько отличается от использования их в математической логике. Так, в повседневной речи если высказывание  $F_1$  ложно, то сложное высказывание  $F_1 \rightarrow F_2$  вообще не имеет смысла. В математической

логике при ложном высказывании  $F_1$  значение сложного высказывания (импликации) всегда истинно.

**Эквиваленция** ( $F_1 \leftrightarrow F_2$ ) есть двухместная операция, посредством которой из двух формул  $F_1$  и  $F_2$  получают новую формулу  $F = (F_1 \leftrightarrow F_2)$ , описывающую сложное высказывание. Значение этого высказывания истинно тогда и только тогда, когда оба операнда  $F_1$  и  $F_2$  имеют одинаковые значения.

В программировании для этого используют оператор IFF:

$F_1$  IFF  $F_2$  истинно тогда и только тогда, когда  $F_1$  и  $F_2$  имеют одинаковое значение.

На естественном языке это выражается словами «для того чтобы..., необходимо и достаточно...», «...лишь при условии...» и т. п.

Эквиваленция позволяет выполнять в процессе логического доказательства теорем замещения одной формулы другой.

#### **9.5.5. Правила записи сложных формул**

Для определения истинности сложного суждения необходимо анализировать значение истинности каждого составного высказывания и формировать последовательно значение истинности каждой подформулы, входящей в формулу сложного суждения. Логическое значение формулы алгебры логики полностью определяется логическими значениями входящих в нее пропозициональных переменных. Все возможные логические значения формулы в зависимости от значений входящих в нее элементарных высказываний могут быть полностью описаны с помощью таблицы истинности.

Пример. Дано суждение: если инвестиции на текущий год не изменятся ( $A$ ), то возрастет расходная часть бюджета ( $B$ ) или возникнет безработица ( $C$ ), а если возрастет расходная часть бюджета, то налоги не будут снижены ( $D$ ) и, наконец, если налоги не будут снижены и инвестиции не изменятся, то безработица не возникнет.

В этом суждении есть четыре повествовательных предложения, которые следует заменить пропозициональными переменными и формально описать суждение. Тогда формула сложного суждения имеет вид:

$$F = (A \rightarrow (B \vee C)) \wedge (B \rightarrow D) \wedge ((D \wedge A) \rightarrow \neg C). \quad (9.28)$$

Для различных значений истинности пропозициональных переменных и подформул, построенных на логических связках, можно последовательно определить значение истинности формулы  $F$ . Таблица, в которой рассматриваются любые наборы

пропозициональных переменных и определяются значения всех подформул формулы, называют таблицей истинности.

Ниже представлена таблица (табл. 9.9) истинности для этого суждения.

Для удобства записи любой подформулы и формулы каждый столбец пронумерован и логические операции выполняются с индексами столбцов. В 12-м столбце таблицы выделены те строки, в которых формула имеет истинное значение при различных наборах значений пропозициональных переменных ( $A, B, C$  и  $D$ ).

Приведенный пример позволяет сформулировать некоторые правила записи сложных суждений. Так, при записи сложных высказываний следует обращать внимание, чтобы в формулах не было двух рядом стоящих логических связок – они должны быть разъединены формулами либо вспомогательными символами, и не было двух рядом стоящих формул – они должны быть разъединены логической связкой.

Таблица 9.9

**Таблица истинности высказывания (9.28)**

| $A$ | $B$ | $C$ | $D$ | $\neg C$ | $4 \wedge 1$ | $2 \vee 3$ | $1 \rightarrow 7$ | $2 \rightarrow 4$ | $6 \rightarrow 5$ | $8 \wedge 9$ | $11 \wedge 10$ |
|-----|-----|-----|-----|----------|--------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------|
| 1   | 2   | 3   | 4   | 5        | 6            | 7          | 8                 | 9                 | 10                | 11           | 12             |
| Л   | Л   | Л   | Л   | И        | Л            | Л          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| Л   | Л   | Л   | И   | И        | Л            | Л          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| Л   | Л   | И   | Л   | Л        | Л            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| Л   | Л   | И   | И   | Л        | Л            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| Л   | И   | Л   | Л   | И        | Л            | И          | И                 | Л                 | И                 | Л            | Л              |
| Л   | И   | Л   | И   | И        | Л            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| Л   | И   | И   | Л   | Л        | Л            | И          | И                 | Л                 | И                 | Л            | Л              |
| Л   | И   | И   | И   | Л        | Л            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| И   | Л   | Л   | Л   | И        | Л            | Л          | Л                 | И                 | И                 | Л            | Л              |
| И   | Л   | Л   | И   | И        | И            | Л          | Л                 | И                 | И                 | Л            | Л              |
| И   | Л   | И   | Л   | Л        | Л            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| И   | Л   | И   | И   | Л        | И            | И          | И                 | И                 | Л                 | И            | Л              |
| И   | И   | Л   | Л   | И        | Л            | И          | И                 | Л                 | И                 | Л            | Л              |
| И   | И   | Л   | И   | И        | И            | И          | И                 | И                 | И                 | И            | <b>И</b>       |
| И   | И   | И   | Л   | Л        | Л            | И          | И                 | Л                 | И                 | Л            | Л              |
| И   | И   | И   | И   | Л        | И            | И          | И                 | И                 | Л                 | И            | Л              |

При записи сложных формул следует помнить, что

1) каждое вхождение логической связки « $\rightarrow$ » относится к пропозициональной переменной или формуле, следующей непосредственно за логической связкой справа;

2) каждое вхождение логической связки « $\wedge$ » после расстановки скобок связывает пропозициональные переменные или формулы, непосредственно окружающие логическую связку;

3) каждое вхождение логической связки « $\vee$ » после расстановки скобок связывает пропозициональные переменные или формулы, непосредственно окружающие эту связку.

При использовании этих правил к одной и той же формуле скобки следует расставлять постепенно, продвигаясь слева направо.

Логические связки по силе и значимости могут быть упорядочены так:  $\neg$ ;  $\wedge$ ;  $\vee$ ;  $\rightarrow$ ;  $\leftrightarrow$ . То есть самой сильной связкой является отрицание, затем конъюнкция, дизъюнкция, импликация и, наконец, эквиваленция. Зная правила о силе логических связок, можно опускать те пары скобок, без которых ясен порядок исполнения логических операций.

### **9.5.7. Исчисление высказываний**

Определение исчисления высказываний, как и любой формальной системы, следует начинать с задания множества аксиом и правил вывода, обеспечивающих последовательное их использование при доказательстве истинности заключения.

Доказательством называют конечную последовательность высказываний, каждое из которых является либо аксиомой, либо выводится из одного или более предыдущих высказываний этой последовательности по правилам вывода.

Определение минимально возможного множества аксиом определяет семантическую полноту исчисления, а определение правил, обеспечивающих последовательное использование аксиом и промежуточных высказываний в процессе формирования заключения – метод дедуктивного вывода.

### **9.5.8. Интерпретация формул**

Если дана некоторая формула  $F$  и каждой ее пропозициональной переменной приписано значение «и» или «л», то говорят, что дана интерпретация формулы  $F$ .

Все множество формул логики высказываний можно разбить на три класса: тождественно истинные, тождественно ложные и теоремы. В каждом классе может быть перечислимое и счетное множество формул.

**Тождественно истинные формулы** (или общезначимые) – это особый класс формул, которые принимают значение «истины» при любом значении пропозициональных переменных, входящих в эту формулу. Эти формулы играют роль аксиом и законов логики высказываний.

**Тождественно ложные формулы** (или противоречия) – это особый класс формул, которые принимают значение «ложь» при любых значениях пропозициональных переменных, входящих в формулу.

**Выполнимые формулы** – это особый класс формул, которые принимают значения «истина» или «ложь» в зависимости от значений пропозициональных переменных.

Поиск алгоритма, определяющего, к какому классу принадлежит та или иная формула, формирует проблему разрешимости исчисления высказываний.

Любая формула исчисления высказываний может рассматриваться как формула алгебры высказываний и, следовательно, можно рассматривать ее логические значения на различных наборах значений входящих в нее пропозициональных переменных по таблицам истинности.

Недостаток использования таблиц истинности состоит в том, что при большом числе пропозициональных переменных сама процедура построения этих таблиц становится громоздкой, так как число строк этой таблицы равно  $2^n$ , где  $n$  – число пропозициональных переменных формулы, а число столбцов не меньше  $(n + m)$ , где  $m$  – число логических связок в формуле.

#### **9.5.9. Сложность вычислений**

Мало того, что есть алгоритмически неразрешимые задачи и их бесконечно больше, чем задач алгоритмически разрешимых. С практической точки зрения нам не легче, если решение разрешимой задачи мы сможем получить через миллион лет. Это труднорешаемые задачи, для нас (простых смертных) они не отличаются от задач алгоритмически неразрешимых.

А ситуация с труднорешаемыми задачами еще более туманная, чем с алгоритмической разрешимостью. Пока единственный, фактически, «железный» аргумент нашей беспомощности заключается в том, что никто пока не нашел для нее легкого решения! Даже американские политики.

Ненормальность такой ситуации усугубится, если учесть, что теоретики рассматривают только конечные дискретные задачи (задачи либо на поиск оптимума, либо распознавания «да-нет»), любая из которых (теоретически) может быть решена хотя бы (за неимением лучшего) простым перебором. Но от этого не легче, если вспомнить легенду об изобретателе шахмат, который попросил в награду за первую клеточку шахматной доски одно зернышко, за вторую два... за

64-ю клеточку 2 в 63-й степени зернышек. Что превышает зерновые ресурсы земного шара.

Из-за огромного количества несущественных особенностей различных способов вычисления признаки, которые следовало бы учитывать при определении сложности вычислений, слишком многочисленны и противоречивы. Но в конечном счете большинство сходится к тому, что все можно свести ко времени (числу элементарных шагов) вычисления и объему памяти. Более того, многие видят при этом в качестве наилучших моделей машины Тьюринга. Проблему быстро свели к двум словам и их сочетанию.

#### **9.5.10. Описание рабочего примера**

На рис. 9.13 изображена многовариантная структурная блок-схема химико-технологической системы цеха помола цементного клинкера. Поток сырья из склада Q1 попадает в камеру смешения, куда также попадают потоки Q3 и Q2 от сепараторов после второй и первой камер мельницы соответственно. Далее поток сырья идет в первую камеру помольной установки Q2. После первой камеры помольной установки технологический процесс может происходить по двум путям: первый поток Q6 для открытого цикла и закрытого по второй схеме; второй поток Q5 по замкнутому циклу по первой схеме на сепарацию полуготового продукта. Из сепаратора после первой ступени помола Q6 разделяется на потоки Q2 (крупная фракция) и Q7 (средняя и мелкая фракция, идущие на домол во вторую помольную камеру через камеру смешения). Из камеры смешения материал идет во вторую помольную камеру Q9. Далее из камеры помола поток может разделиться на Q11 готовый продукт в силосы или Q8 в сепаратор, где крупная фракция идет на домол Q3, а готовый продукт Q10 – в силосы.

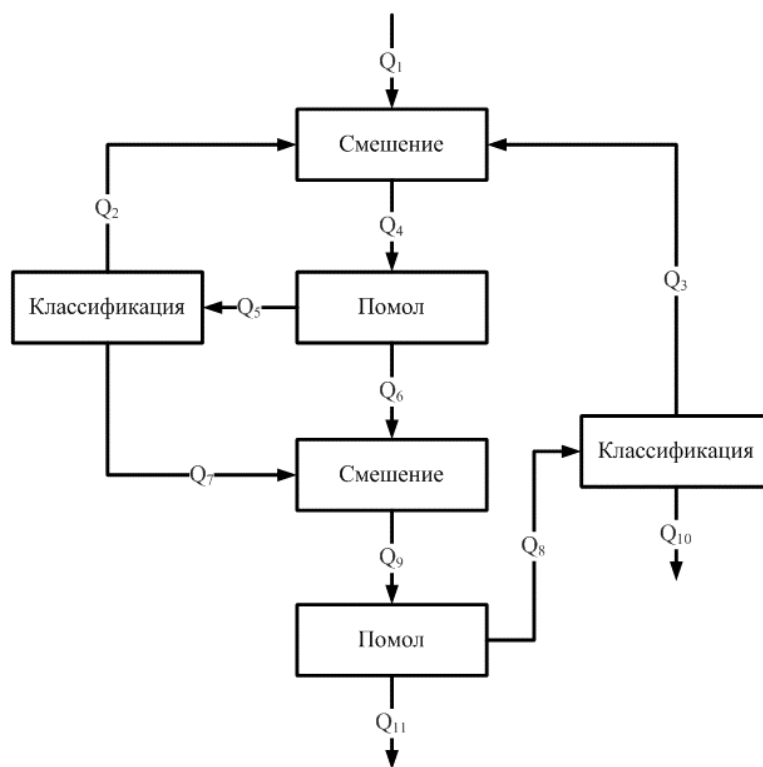


Рис. 9.13. Принципиальная многовариантная блок-схема химико-технологической системы помола клинкера

Для получения портландцемента клинкер подвергают помолу совместно с гипсовым камнем (3–5%) и гидравлическими или инертными добавками, которые перед помолом высушивают. Помол клинкера является важным технологическим процессом, одним из наиболее энергоемких в цементном производстве. Именно помол, освобождая поверхности, необходимые для гидратации клинкера, придает конечному продукту способность реагировать с водой, которая обеспечивает активность, интенсивность нарастания прочности. Многие свойства цемента зависят не только от фазового и химического состава клинкера, но и от тонкости помола.

Тонкость помола портландцемента характеризуется по остаткам на сите с размером ячеек в свету 0,08 мм, а иногда и 0,06 мм. Более точной является характеристика тонкости помола по удельной поверхности. Современные цементы характеризуются удельной поверхностью 2800–3000 см<sup>2</sup>/г при остатке на сите № 008 5–8%. Быстротвердеющие цементы имеют более высокую удельную поверхность (3500–4500 см<sup>2</sup>/г). С увеличением удельной поверхности цемента прочность и скорость твердения возрастает сначала достаточно интенсивно, а затем медленнее. Однако когда удельная



поверхность достигает  $7000 \text{ см}^2/\text{г}$ , наблюдается некоторое снижение прочности, что объясняется более высокой водопотребностью тонкоизмельченного цемента. Высокая удельная поверхность цемента отрицательно влияет также и на морозостойкость.

На свойства полученного цемента влияет не только удельная поверхность, но и гранулометрический состав порошка, условия измельчения. Так, при измельчении цемента до одинаковой удельной поверхности в шахтной, вибрационной, струйной и эксцентриковой мельницах было установлено, что цемент, измельченный в струйной и вибрационной мельницах, наиболее активен, а измельченный в эксцентриковой мельнице – наименее активен. Это объясняется различной формой полученных зерен.

Помол клинкера может производиться в открытом и замкнутом цикле. При помоле в открытом цикле нельзя достигнуть высокого уровня удельной поверхности, так как в мельнице накапливается значительное количество мелких фракций. Готовый цемент имеет широкий диапазон крупности, что ухудшает его свойства. В открытом цикле цемент обычно измельчают до удельной поверхности не более  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Для достижения более высокой удельной поверхности необходимо в процессе помола отделять мелкие частички, т. е. применять замкнутый цикл помола. При этом измельчаемый материал проходит через сепаратор, где отделяется мелкая фракция, являющаяся готовым продуктом, а крупная фракция возвращается в мельницу. Благодаря своевременному удалению мелкой фракции из мельницы готовый продукт более однороден по гранулометрическому составу, содержит значительно меньше крупных фракций, которые остаются в цементном камне балластом и почти не влияют на прочность. Измельчение клинкера в замкнутом цикле можно осуществлять по двум схемам.

По первой схеме отделение мелкой фракции происходит после второй камеры трубной мельницы, а крупная фракция возвращается на домол в первую камеру мельницы. По второй схеме происходит недомол материала до нужных размеров клинкера, поэтому отделение производится после первой камеры трубной мельницы, и крупная фракция идет на домол в первую, а средняя – на домол во вторую камеру.

Соблюдение требований обеспечения высокого качества продукции и приемлемых экономических показателей технологии наталкивается на совершенно естественные противоречия.

С одной стороны, необходимо выпускать продукцию высокого

качества, но с минимальными затратами электроэнергии, так как при использовании открытой схемы за электроэнергию придется больше заплатить из-за вторичного помола готового продукта.

С другой стороны, при экономии средств на оплату электроэнергии потребуются больше денег на эксплуатационные расходы. Более высокие капитальные затраты на замкнутые циклы приведут к увеличению срока их окупаемости.

Таким образом, для оптимального оперативного технологического управления необходимо решать компромиссную задачу оптимизации, результатом которой должны быть найдены такие значения управляющих воздействий, которые обеспечивают получение продукции заданного качества и минимизируют функцию цели, стоимость энерготехнологических затрат или максимизируют прибыль от реализации продукции.

Избыточность информации блок-схемы заключается в том, что в нее включено больше материальных потоков, чем требуется для номинального режима работы.

Исходная многовариантная структурная блок-схема состоит из шести элементов (технологических операций) и 14 материальных потоков.

В результате мы получили формализованную структурную химико-технологическую систему помола портландцементного клинкера, представленную на рис. 9.14.

#### **9.5.11. Формализация объекта**

Исполнитель приведенной КР решил исследовать зависимость изменения структуры материальных потоков от стоимости энергии и требований к качеству готовой продукции.

Порядок вычислений, промежуточные и конечные результаты приведены в листингах 9.13 и 9.14, а также на рис. 9.14–9.17.

#### **Листинг 9.13. Логические высказывания, формализующие условия присутствия в блок-схеме технологических операторов и материальных потоков**

```
Если Ф05=1 то Т09: = 0; иначе Т09: = 1;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф05=1 то Т06: = 1; иначе Т06: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф03=1 или Ф08=1 то Т04: = 1; иначе Т04: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф04=1 то Т05: = 1; иначе Т05: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф05=1 то Т08: = 0; иначе Т08: = 1;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф07=1 и Ф08=1 то Т07: = 1; иначе Т07: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф09=1 то Ф10: = 1; иначе Ф10: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф09=1 то Ф11: = 1; иначе Ф11: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Т08=1 то Ф09: = 1; иначе Ф09:=0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф06=1 то Ф08: = 1; иначе Ф08: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;  
Если Ф06=1 то Ф07: = 1; иначе Ф07: = 0;КОНЕЦЕСЛИ;
```

Если Прочн $>$ 0.7 или Цэнер $>$ 0.75 или (Прочн $>$ 0.7 и Цэнер $>$ 0.75) то  
 $\Phi 06: = 1$ ; иначе  $\Phi 06: = 0$ ;КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 06=1$  или (Прочн $<$ 0.45 и Цэнер $<$ 0.35) или Цэнер $<$ 0.35 то  $\Phi 05:$   
 $= 1$ ; иначе  $\Phi 05: = 0$ ;КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если T04=1 то  $\Phi 04: = 1$ ; иначе  $\Phi 04: = 0$ ;КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 06=1$  то  $\Phi 03: = 0$ ; иначе  $\Phi 03: = 1$ ;КОНЕЦЕСЛИ;

**Листинг 9.14. Логические высказывания, формализующие свойства химико-технологической системы.**

Если  $\Phi 05=1$  и  $\Phi 06=1$  то System.РезЭконом:=0.85; КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 09=1$  то System.РезЭконом:=0.7; КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 05=1$  и  $\Phi 06=0$  то System.РезЭконом:=0.5; КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 06=1$  и  $\Phi 05=1$  то System.РезПрочн:=0.75; КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 06=0$  и  $\Phi 05=1$  то System.РезПрочн:=0.4; КОНЕЦЕСЛИ;  
 Если  $\Phi 09=1$  то System.РезПрочн:=0.6; КОНЕЦЕСЛИ;

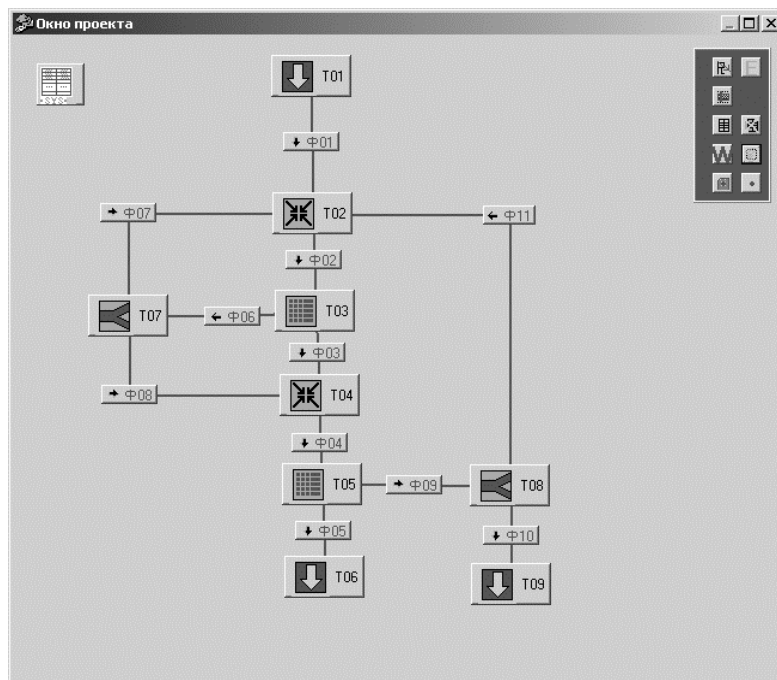


Рис. 9.14. Формализованная структурная схема помола портландцементного клинкера

Исходные данные к проекту

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

OK Отменить Сброс позиций Выйти

Цены на ресурсы

|                   |                                |                                |             |       |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------|
| Энергия           | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="1"/> | 0.10:низкие | Цэнер |
| Сырье             | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие | Цсырь |
| Химикаты          | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие | Цхими |
| Речная вода       | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие | Цречн |
| Возмещение ущерба | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие | Цущер |

Научеомкость технологических процессов

|                        |                      |             |       |
|------------------------|----------------------|-------------|-------|
| Механические процессы  | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмеха |
| Химические процессы    | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нхими |
| Массообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмасс |
| Теплообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нтепл |

Требования к качеству продукции

|              |                      |             |       |
|--------------|----------------------|-------------|-------|
| Прочность    | <input type="text"/> | 0.10:низкая | Прочн |
| Пластичность | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Пласт |

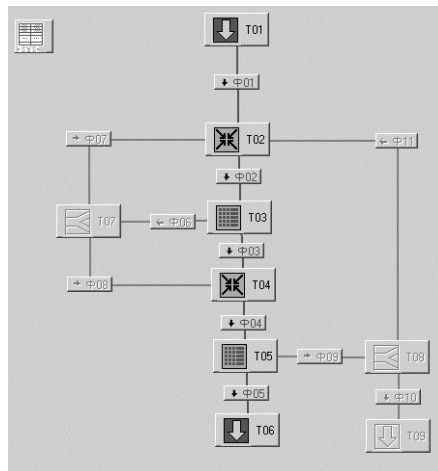


Рис. 9.15. Химико-технологическая система, работающая по открытому способу

Исходные данные к проекту

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

OK Отменить Сброс позиций Выйти

Цены на ресурсы

|                   |                                |                                |              |       |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-------|
| Энергия           | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="1"/> | 0.90:значит. | Цэнер |
| Сырье             | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цсырь |
| Химикаты          | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цхими |
| Речная вода       | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цречн |
| Возмещение ущерба | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цущер |

Научеомкость технологических процессов

|                        |                      |             |       |
|------------------------|----------------------|-------------|-------|
| Механические процессы  | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмеха |
| Химические процессы    | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нхими |
| Массообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмасс |
| Теплообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нтепл |

Требования к качеству продукции

|              |                      |             |       |
|--------------|----------------------|-------------|-------|
| Прочность    | <input type="text"/> | 0.20:низкая | Прочн |
| Пластичность | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Пласт |

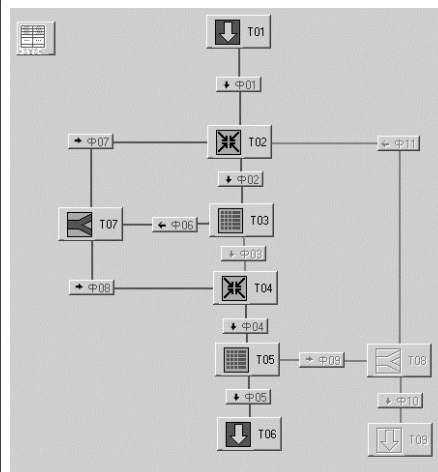


Рис. 9.16. Химико-технологическая система, работающая по замкнутому циклу по второй схеме

Исходные данные к проекту

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

OK Отменить Сброс позиций Выйти

Цены на ресурсы

|                   |                                |                                |              |       |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-------|
| Энергия           | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="1"/> | 0.50:средние | Цэнер |
| Сырье             | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цсырь |
| Химикаты          | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цхими |
| Речная вода       | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цречн |
| Возмещение ущерба | <input type="text"/>           | <input type="text"/>           | 0.00:низкие  | Цущер |

Научеомкость технологических процессов

|                        |                      |             |       |
|------------------------|----------------------|-------------|-------|
| Механические процессы  | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмеха |
| Химические процессы    | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нхими |
| Массообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нмасс |
| Теплообменные процессы | <input type="text"/> | 0.00:низкая | Нтепл |

Требования к качеству продукции

|              |                      |              |       |
|--------------|----------------------|--------------|-------|
| Прочность    | <input type="text"/> | 0.50:средняя | Прочн |
| Пластичность | <input type="text"/> | 0.00:низкая  | Пласт |

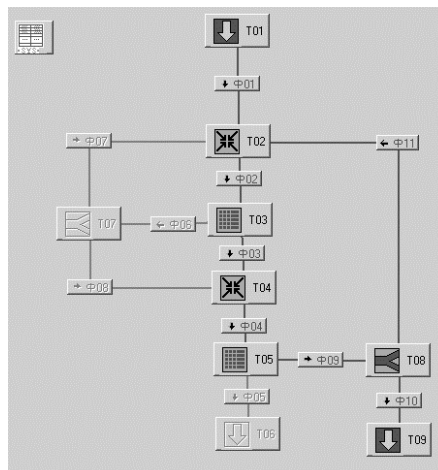


Рис. 9.17. Химико-технологическая система, работающая по замкнутому циклу по первой схеме

Уменьшения затрат энергии на единицу продукции можно добиться классификацией потока после помола. Причина осторожного отношения производителей к замкнутой системе, даже при низких ценах на энергию, заключается в том, что при замкнутых циклах требуются большие капитальные затраты, так как необходимо усложнять конструкцию помольного агрегата, устанавливать дополнительные конвейеры, сепараторы и дополнительные дорогостоящие пылеочистительные системы.

Открытый способ помола целесообразно применять при дешевой энергии и при низких требованиях к качеству продукции (неоднородность гранулометрического состава). При этом можно обойтись малыми капитальными затратами.

По замкнутому способу получается продукт высокого качества при низких затратах энергии на единицу продукции, но требуются большие капитальные затраты на закупку, монтаж и эксплуатацию сложного оборудования.

Если сравнивать первую и вторую схемы замкнутого способа помола, то вторая окажется более экономичной, так как первая предусматривает вторичный помол полуготового продукта вместе с немолотым материалом.

В результате установлено, что при дорогой энергии и высоких требованиях к качеству готового продукта необходимо открытый способ заменить замкнутым, первую схему заменить второй.

## 10. РЕШЕНИЕ КОМПРОМИССНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

### 10.1. Оптимизация технологических режимов

#### 10.1.1. Схема программы решения компромиссных оптимизационных задач

Требуется вычислить такие значения управляющих воздействий  $x_1, x_2, x_3$ , которые обеспечивают получение продукции заданного качества  $Y_1$  и  $Y_2$  и минимизируют себестоимость продукции  $f(x_1, x_2, x_3)$  в заданной области факторного пространства (табл. 10.1).

В основу примера задачи положен производственный комплекс утилизации волокнистых отходов типа макулатуры. Проблемная ситуация связана с необходимостью упрочнения утилизированных материалов из макулатуры, поскольку волокна, уже однажды прошедшие размол, отлив и сушку, отбухли, ороговели и в значительной степени утратили свои бумагообразующие свойства.

Упрочнение проще осуществить с помощью длиноволокнистой армирующей добавки. Но волокнистую добавку нужно подвергнуть размолу, чтобы на поверхность волокон вышли активные карбоксильные и карбонильные группы, способные осуществлять весь комплекс межмолекулярных ван-дер-ваальсовых взаимодействий и образовывать мощную водородную связь. Бумага получается прочнее, но повышение степени помола делает бумагу жесткой и ломкой при изгибе. К жесткому механическому упрочнению необходимо добавить пластифицирующие агенты в виде гидродисперсий полимеров, которые не только умягчают бумагу, но и делают ее влагопрочной.

Таблица 10.1

**Программные строки и комментарии процесса решения  
оптимизационной задачи с помощью Mathcad**

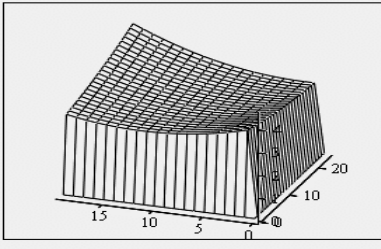
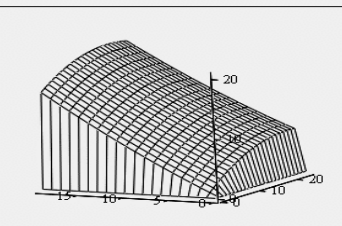
| <i>Программные строки</i>                                  | <i>Комментарии</i>                                 |
|--|--|
| <i>ORIGIN := 0</i>   | <i>Элементы массива нумеруются, начиная с нуля</i> |
| <i>Стартовая точка</i>                                     |  |
| <i>x<sub>1</sub> := 95</i>                                 | <i>Расход волокнистой упрочняющей добавки</i>      |
| <i>x<sub>2</sub> := 85</i>                                 | <i>Расход полимерной упрочняющей добавки</i>       |
| <i>x<sub>3</sub> := 20</i>                                 | <i>Степень помола волокна</i>                      |
| <i>Регламентированные проектные переменные (константы)</i> |  |
| <i>C1 := 200</i>   | <i>Цена волокна</i>                                |

**C2 := 250**

***Цена полимера***

| <i>Программные строки</i>  |  | <i>Комментарии</i>                            |  |
|--|--|---|--|
| $C3 := 0.06$   |  | <i>Цена энергии</i>                           |  |
| $C4 := 150$  |  | <i>Удельный расход энергии на разбол</i>      |  |
| <i>Целевая функция</i>   |  |   |  |
| $f(x_1, x_2, x_3) := C1 \cdot x_1 + C2 \cdot x_2 + C3 \cdot C4 \cdot (x_3 - 14) \cdot$ |  |   |  |
| <i>Коэффициенты полиномиальных моделей</i>   |  |   |  |
| $b :=$   | $\begin{pmatrix} -1.65314 \\ -0.01245 \\ -0.06136 \\ 0.589806 \\ 0.000512 \\ -0.00135 \\ -0.00233 \\ 0.000092 \\ 0.000616 \\ -0.00667 \end{pmatrix}$ | $c :=$  | $\begin{pmatrix} 12.33851 \\ 0.206737 \\ 0.744091 \\ -2.53161 \\ -0.00056 \\ 0.006553 \\ -0.01888 \\ -0.00161 \\ 0.000841 \\ 0.043723 \end{pmatrix}$ |
| <i>Вычисление коэффициентов полиномов</i>  |  |   |  |
| <i>Модель прочности</i>  |  | <i>Модель пластичности</i>                    |  |
| $F_{Y1}(b, x_1, x_2, x_3) :=$  | $S \leftarrow b_0$   | $F_{Y2}(c, x_1, x_2, x_3) :=$                 | $S \leftarrow c_0$   |
|  | $S \leftarrow S + b_1 \cdot x_1$   |   | $S \leftarrow S + c_1 \cdot x_1$   |
|  | $S \leftarrow S + b_2 \cdot x_2$   |   | $S \leftarrow S + c_2 \cdot x_2$   |
|  | $S \leftarrow S + b_3 \cdot x_3$   |   | $S \leftarrow S + c_3 \cdot x_3$   |
|  | $S \leftarrow S + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2$   |   | $S \leftarrow S + c_4 \cdot x_1 \cdot x_2$   |
|  | $S \leftarrow S + b_5 \cdot x_1 \cdot x_3$   |   | $S \leftarrow S + c_5 \cdot x_1 \cdot x_3$   |
|  | $S \leftarrow S + b_6 \cdot x_2 \cdot x_3$   |   | $S \leftarrow S + c_6 \cdot x_2 \cdot x_3$   |
|  | $S \leftarrow S + b_7 \cdot x_1^2$   |   | $S \leftarrow S + c_7 \cdot x_1^2$   |
|  | $S \leftarrow S + b_8 \cdot x_2^2$   |   | $S \leftarrow S + c_8 \cdot x_2^2$   |
|  | $S \leftarrow S + b_9 \cdot x_3^2$   |   | $S \leftarrow S + c_9 \cdot x_3^2$   |
|  | $S$  |   | $S$  |
| <i>Значения показателей качества в стартовой точке</i>                                 |  |   |  |
| $Y1 := F_{Y1}(b, x_1, x_2, x_3) \quad Y1 = 3.965$                                      |  |   |  |
| $Y2 := F_{Y2}(c, x_1, x_2, x_3) \quad Y2 = 28.563$                                     |  |   |  |
| <i>Подготовка к выводу графика поверхности функции прочности</i>                       |  |   |  |
| $n1 := 25 \quad n2 := 20$  |  | <i>Число делений параметров по осям</i>       |  |
| $x_{1_0} := 50 \quad x_{2_0} := 50$  |  | <i>Начальные значения параметров</i>          |  |
| $dx1 := \frac{125 - x_{1_0}}{n1} \quad dx2 := \frac{110 - x_{2_0}}{n2}$                |  | <i>Приращения значений параметров по осям</i> |  |
| $i := 1 \dots n1 - 1 \quad j := 1 \dots n2 - 1$  |  | <i>Границы значений параметров по осям</i>    |  |
| $x_{1_i} := x_{1_{i-1}} + dx1 \quad x_{2_j} := x_{2_{j-1}} + dx2$                      |  | <i>Вычисление значений параметров по осям</i> |  |



| <i>Программные строки</i>   | <i>Комментарии</i>   |
|---|--|
| $x_3 := 20$   | <i>График поверхности будет построен для сечения по третьему параметру <math>x_3 = 20</math></i>   |
| $M1_{i,j} := F_{Y1}(b, x_1, x_2, x_3)$                                  | <i>Построение графика поверхности функции прочности</i><br><br>M1      |
| <i>Подготовка к выводу графика поверхности функции пластичности</i>     |  |
| $n1 := 25 \quad n2 := 20$   | <i>Число делений параметров по осям</i>  |
| $x_{1_0} := 50 \quad x_{2_0} := 50$                                     | <i>Начальные значения параметров</i>   |
| $dx1 := \frac{125 - x_{1_0}}{n1} \quad dx2 := \frac{110 - x_{2_0}}{n2}$ | <i>Приращения значений параметров по осям</i>  |
| $i := 1 \dots n1 - 1 \quad j := 1 \dots n2 - 1$                         | <i>Границы значений параметров по осям</i>   |
| $x_{1_i} := x_{1_{i-1}} + dx1 \quad x_{2_j} := x_{2_{j-1}} + dx2$       | <i>Вычисление значений параметров по осям</i>  |
| $x_3 := 30$   | <i>График поверхности будет построен для сечения по третьему параметру <math>x_3 = 30</math></i>   |
| $M2_{i,j} := F_{Y2}(c, x_1, x_2, x_3)$                                  | <i>Построение графика поверхности функции пластичности</i><br><br>M2 |
| <i>Вычислительный блок программы</i>                                    |  |
| <i>Given</i>  | <i>Ключевое слово вычислительного блока</i>  |
| $50 \leq x_1 \leq 125$  | <i>Ресурс управления</i>   |
| $50 \leq x_2 \leq 110$  |  |
| $20 \leq x_3 \leq 40$   |  |
| <i>Вычисление значений показателей качества</i>                         |  |
| $Y1 := F_{Y1}(b, x_1, x_2, x_3)$  | <i>Вычисление значений прочности</i>   |
| $Y2 := F_{Y2}(c, x_1, x_2, x_3)$  | <i>Вычисление значений пластичности</i>  |
| <i>Согласованные требования к качеству</i>                              |  |
| $3.5 \leq Y1 \leq 4.5$  | <i>Допустимые границы по прочности</i>   |
| $15 \leq Y2 \leq 25$  | <i>Допустимые границы по пластичности</i>  |

| <i>Программные строки</i>                          | <i>Комментарии</i>  |
|--|---|
| <i>Решение задачи с помощью встроенной функции</i> |   |
| <i>W := Minimize (f, x1, x2, x3)</i>               | <i>Встроенная функция</i>   |
| <i>Результат решения задачи оптимизации</i>        |   |
| $W = \begin{pmatrix} 50 \\ 50 \\ 20 \end{pmatrix}$ | <i>Таким образом, оптимальные значения параметров технологического режима составляют:<br/><math>x_1 = 50; x_2 = 50; x_3 = 20</math></i> |
| <i>Минимальное значение целевой функции</i>        | $F(W_0, W_1, W_2) = 2.35 \cdot 10^5$  |

### 10.1.2. Пример некорректного решения оптимизационной задачи

Рассмотрим решение, описываемое листингом 10.1.

#### Листинг 10.1. Программа решения оптимизационных задач

Решение компромиссных оптимизационных задач

ORIGIN := 0

Стартовая точка

x1 := 95 Расход волокна

x2 := 85 Расход полимера

x3 := 20 Степень помола

C1 := 200 Цена волокна

C2 := 250 Цена полимера

C3 := 0.06 Цена энергии

C4 := 250 Удельный расход энергии на размол

Целевая функция

$f(x_1, x_2, x_3) := C1 \cdot x_1 + C2 \cdot x_2 + C3 \cdot C4 \cdot (x_3 - 14)$

Коэффициенты полиномиальных моделей

$$b := \begin{pmatrix} -1.65314 \\ -0.0124517 \\ -0.0613643 \\ 0.589806 \\ 0.000510154 \\ -0.00134712 \\ -0.00232577 \\ 0.0000924117 \\ 0.000615878 \\ -0.00667221 \end{pmatrix} \quad c := \begin{pmatrix} 12.3385 \\ 0.206737 \\ 0.744091 \\ -2.5316 \\ -0.00055527 \\ 0.00655341 \\ -0.0188803 \\ -0.00160987 \\ 0.000841185 \\ 0.0413723 \end{pmatrix}$$

Вычисление полиномиальных моделей

| Модель прочности                    | Модель пластичности                        |
|-------------------------------------|--|
| $F_{\gamma_1}(b, x_1, x_2, x_3) :=$ | $S \leftarrow b_0$                         |
|                                     | $S \leftarrow S + b_1 \cdot x_1$           |
|                                     | $S \leftarrow S + b_2 \cdot x_2$           |
|                                     | $S \leftarrow S + b_3 \cdot x_3$           |
|                                     | $S \leftarrow S + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2$ |
|                                     | $S \leftarrow S + b_5 \cdot x_1 \cdot x_3$ |
|                                     | $S \leftarrow S + b_6 \cdot x_2 \cdot x_3$ |
|                                     | $S \leftarrow S + b_7 \cdot x_1^2$         |
|                                     | $S \leftarrow S + b_8 \cdot x_2^2$         |
|                                     | $S \leftarrow S + b_9 \cdot x_3^2$         |
|                                     | $S$  |

$$F_{Y_2}(c, x_1, x_2, x_3) := \left| \begin{array}{l} S \leftarrow c_0 \\ S \leftarrow S + c_1 \cdot x_1 \\ S \leftarrow S + c_2 \cdot x_2 \\ S \leftarrow S + c_3 \cdot x_3 \\ S \leftarrow S + c_4 \cdot x_1 \cdot x_2 \\ S \leftarrow S + c_5 \cdot x_1 \cdot x_3 \\ S \leftarrow S + c_6 \cdot x_2 \cdot x_3 \\ S \leftarrow S + c_7 \cdot x_1^2 \\ S \leftarrow S + c_8 \cdot x_2^2 \\ S \leftarrow S + c_9 \cdot x_3^2 \\ S \end{array} \right.$$

$$Y_1 := F_{Y_1}(b, x_1, x_2, x_3) \quad Y_2 := F_{Y_1}(c, x_1, x_2, x_3)$$

$$n_1 := 25 \quad n_2 := 20 \quad x_{1_0} := 50 \quad x_{2_0} := 50$$

$$dx_1 := \frac{125 - 50}{n_1} \quad dx_2 := \frac{110 - 50}{n_2}$$

$$i := 1..n_1 - 1 \quad j := 1..n_2 - 1$$

$$x_{1_i} := x_{1_{i-1}} + dx_1 \quad x_{2_j} := x_{2_{j-1}} + dx_2$$

$$x_1^T =$$

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 0 | 50 | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 68 | 71 | 74 | 77 |

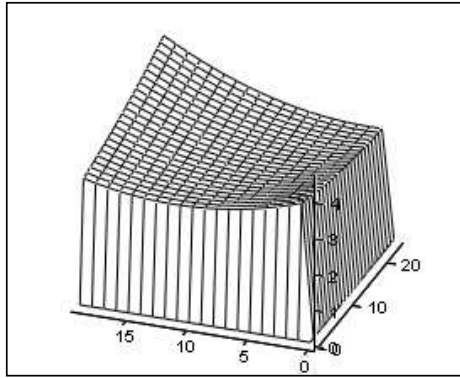
  

$$x_2^T =$$

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 0 | 50 | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 68 | 71 | 74 | 77 |

$$x_3 := 30$$

$$M_{1,i,j} := F_{Y_1}(b, x_{1_i}, x_{2_j}, x_3)$$



M1

$$n1 := 25 \quad n2 := 20 \quad x_{1_0} := 50 \quad x_{2_0} := 50$$

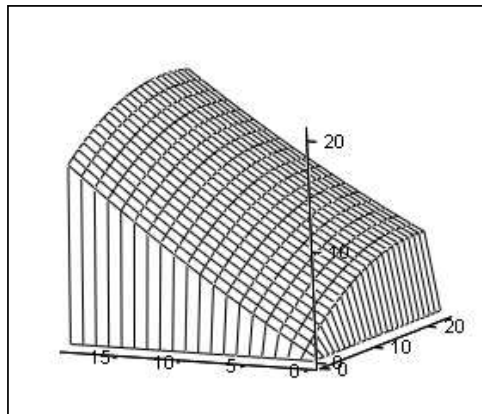
$$dx1 := \frac{125 - 50}{n1} \quad dx2 := \frac{110 - 50}{n2}$$

$$i := 1..n1 - 1 \quad j := 1..n2 - 1$$

$$x_{1_i} := x_{1_{i-1}} + dx1 \quad x_{2_j} := x_{2_{j-1}} + dx2$$

$$x_3 := 30$$

$$M2_{i,j} := F_{Y2}(c, x_{1_i}, x_{2_j}, x_3)$$



M2

Given

$$50 \leq x1 \leq 125$$

$$50 \leq x2 \leq 110$$

$$20 \leq x3 \leq 35$$

Ключевое слово вычислительного блока

Ресурс управления

$$Y1 := F_{Y1}(b, x1, x2, x3)$$

$$Y2 := F_{Y2}(c, x1, x2, x3)$$

$$3.4 \leq Y1 \leq 40$$

$$15 \leq Y2 \leq 95$$

Требования к качеству

Решение

$W := \text{Minimize}(f, x_1, x_2, x_3)$  Встроенная функция

Результат решения

$$f(W_0, W_1, W_2) = 2.259 \times 10^4$$

$$W = \begin{pmatrix} 50 \\ 50 \\ 20 \end{pmatrix}$$

$$F_{Y1}(b, W_0, W_1, W_2) = 3.157$$

$$F_{Y2}(c, W_0, W_1, W_2) = 10.16$$

Формально задача считается решенной, тем более, что методами *Квази-Ньютона* и *Проектирования градиента* получается один и тот же результат. Но возникает обоснованное сомнение в его достоверности.

Во-первых, обращает на себя внимание положение оптимальной точки на нижних уровнях системы ограничений на зависимые переменные. Во-вторых, значения показателей качества при оптимальных значениях факторов выходят за пределы допустимых границ.

Поэтому целесообразно эту же задачу решить другим методом оптимизации, например, поисковым. Ниже приведен протокол ее решения методом случайного локального поиска.

### Протокол решения задачи оптимизации методом случайного локального поиска с помощью программы OPTIM

Независимые переменные

|                 |       |
|-----------------|-------|
| Расход волокна  | $x_1$ |
| Расход полимера | $x_2$ |
| Степень помола  | $x_3$ |

Регламентированные и зависимые переменные

|                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Цена волокна                      | $C_1=200$                     |
| Цена полимера                     | $C_2=250$                     |
| Цена энергии                      | $C_3=0.06$                    |
| Удельный расход энергии на размол | $C_4=250$                     |
| Прочность                         | $y_1=-1.65314-0.0124517*x_1-$ |

|              |   |
|--------------|---|
|              | $0.0613643*x_2+0.589806*x_3+0.000510154*x_1*x_2-$<br>$0.00134712*x_1*x_3-$<br>$.00232577*x_2*x_3+0.00009234117*x_1^2+0.000615878*x_2^2-$<br>$0.00667221*x_3^2$            |
| Пластичность | $y_2=12.3385+0.206737*x_1+0.744091*x_2-2.5316*x_3-$<br>$0.00055527*x_1*x_2+0.006555341*x_1*x_3-0.0188803*x_2*x_3-$<br>$.00160987*x_1^2+0.000841185*x_2^2+0.0413723*x_3^2$ |

### Ограничения

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| Прочность    | $3.4 \leq y_1 \leq 5$ |
| Пластичность | $15 \leq y_2 \leq 25$ |

### Целевая функция

|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| Себестоимость | $C_1*x_1+C_2*x_2+C_3*C_4*(x_3-14)$ |
|---------------|------------------------------------|

### Вычисления

|                               |                                     |         |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------|
| Метод:                        | Метод случайного локального поиска  |         |
| Целевая функция:              | Себестоимость                       |         |
| Исследовалась на:             | Минимум                             |         |
| Параметры (настройки) метода: | Точность                            | 0.00001 |
|                               | Количество неудачных попыток        | 300     |
|                               | Изменение (уменьшение) шага         | 10%     |
|                               | Стартовое значение шага             | 0.5%    |
| Время расчетов:               | Время расчетов: 0 мин., 5 с., 0 мс. |         |
| Значение функции:             | 32756.88671875                      |         |

### Оптимальные значения параметров

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Расход волокна  | 50.000202 |
| Расход полимера | 90.481293 |
| Степень помола  | 23.101507 |

### Расчетные значения показателей качества в оптимальной точке

|              |           |
|--------------|-----------|
| Прочность    | 3.400000  |
| Пластичность | 22.054676 |

Совершенно очевидно, что этот метод обеспечивает получение достоверных результатов. Следует отметить, что многократный запуск программы из разных стартовых точек и с различными

параметрами настройки дает практически одни и те же оптимальные значения управляющих воздействий.

Таким образом, градиентные методы оптимизации с использованием возможностей пакета Mathcad нельзя применять для решения задач с линейными целевыми функциями.

### 10.1.3. Применение встроенных функций Mathcad для решения оптимизационных задач

Листинг 10.2. Программа решения оптимизационной задачи

ORIGIN := 1

Результаты эксперимента:

Матрица значений факторов X  
 значения функции отклика Y - качество продукции  
 значения функции отклика Z - целевой функции (критерия оптимальности)

|      |   |      |  |      |  |
|------|---|------|--|------|--|
| X := | 65 25.15<br>78 25.7<br>65 28<br>76 24.8<br>82 25<br>85 29<br>87 28.5<br>95 25.2<br>65 30<br>69 30<br>87 25<br>102 28<br>100 28<br>82 22.8<br>84 28<br>75 28 | Y := | 15.09<br>16.33<br>19.06<br>12.9<br>16.03<br>24.26<br>22.16<br>18<br>23.15<br>23.82<br>13.7<br>24.7<br>16.3<br>11.5<br>23.6<br>21.5 | Z := | 664.5<br>698<br>679<br>704.2<br>691<br>765<br>773<br>745<br>751<br>716<br>769<br>875<br>901<br>806<br>772<br>709 |
|------|---|------|--|------|--|

Найдем при помощи регрессионного анализа аппроксимирующие полиномы для функций отклика свойства продукции и целевой функции.

Аппроксимация функции свойства получаемого продукта и целевой функции

Степень аппроксимирующего полинома

$k_Y := 2$

$k_Z := 3$



Функция regress вернет данные, необходимые для работы функции interp. Вектор vs содержит, в том числе, и коэффициенты полинома

$$vs_Y := \text{regress}(X, Y, k_Y)$$

$$vs_Y^T = (3 \quad 3 \quad 2 \quad -0.001 \quad -0.013 \quad 2.783 \quad -71.926 \quad 0.615 \quad -0.003)$$

$$vs_Z := \text{regress}(X, Z, k_Z)$$

$$vs_Z^T =$$

|   | 1 | 2 | 3 | 4      | 5      | 6       |
|---|---|---|---|--------|--------|---------|
| 1 | 3 | 3 | 3 | -0.881 | -2.514 | 272.404 |

Функция interp возвращает значение полинома в точке  $(x_1, x_2)$ .

Определив новые функции  $f_Y, f_Z$  получили возможность находить значение полинома в любой заданной точке.

$$f_Y(x_1, x_2) := \text{interp} \left[ vs_Y, X, Y, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \right]$$

$$f_Z(x_1, x_2) := \text{interp} \left[ vs_Z, X, Z, \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \right]$$

Коэффициенты уравнения регрессии для функции качества:

$$\text{Coef}_Y := \text{submatrix}(vs_Y, 4, \text{length}(vs_Y), 1, 1)$$

$$\text{Coef}_Y^T = (-0.001 \quad -0.013 \quad 2.783 \quad -71.926 \quad 0.615 \quad -0.003)$$

Коэффициенты уравнения регрессии для целевой функции:

$$\text{Coef}_Z := \text{submatrix}(vs_Z, 4, \text{length}(vs_Z), 1, 1)$$

$$\text{Coef}_Z^T =$$

|   | 1      | 2      | 3       | 4         | 5     | 6     |
|---|--------|--------|---------|-----------|-------|-------|
| 1 | -0.881 | -2.514 | 272.404 | -8855.987 | 38.73 | 0.057 |

Построим график полученных функций регрессии:

$$n := 20$$

$$i := 2..n$$

$$dx_1 := \frac{\max(X^{(1)}) - \min(X^{(1)})}{n}$$

$$dx_1 = 1.85$$

$$dx_2 := \frac{\max(X^{(2)}) - \min(X^{(2)})}{n}$$

$$dx_2 = 0.36$$

$$x1_1 := \min(X^{(1)})$$

$$x2_1 := \min(X^{(2)})$$

$$x1_i := x1_{i-1} + dx_1$$

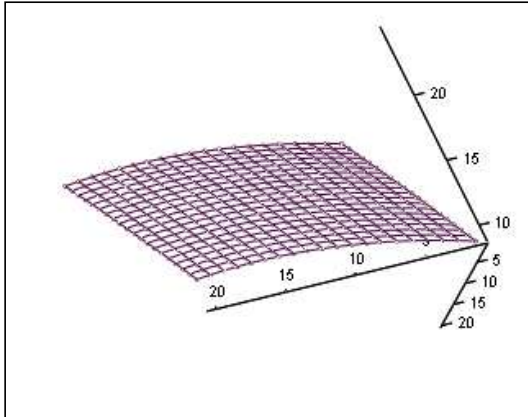
$$x_{2i} := x_{2i-1} + dx_2$$

$$i := 1 .. n$$

$$j := 1 .. n$$

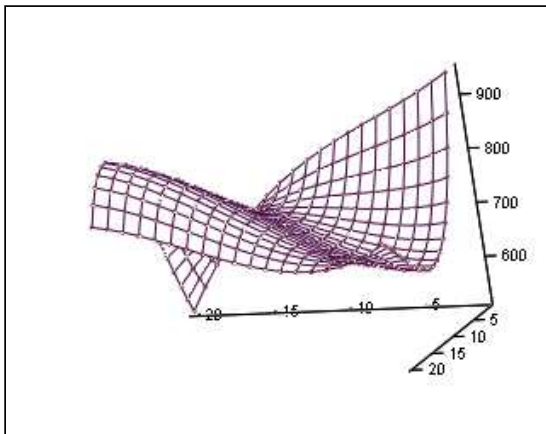
$$F_{Y_{i,j}} := f_Y(x_{1i}, x_{2j})$$

$$F_{Z_{i,j}} := f_Z(x_{1i}, x_{2j})$$



$F_Y$

График математической модели качества продукции степени  $k_Y = 2$



$F_Z$

График математической модели целевой функции процесса (себестоимость) степени  $k_Z = 3$

Сформулируем задачу компромиссной оптимизации: необходимо найти значения факторов  $x_1$  и  $x_2$ , при которых будет достигнута минимальная себестоимость продукции, при условии, что значение качества будет обеспечено в заданных пределах.

Запишем на языке Mathcad условие задачи оптимизации.

Зададим стартовую точку поиска оптимального значения - середина отрезков допустимых значений факторов:

$$X_{1\min} := 60$$

$$X_{1\max} := 110$$

$$X_{2\min} := 22$$

$$X_{2\max} := 32$$

$$X_1 := \frac{X_{1\max} + X_{1\min}}{2}$$

$$X_1 = 85$$

$$X_2 := \frac{X_{2\max} + X_{2\min}}{2}$$

$$X_2 = 27$$

Стартовая точка поиска

$$X_1 = 85 \quad X_2 = 27$$

Given

$$X_{1\min} \leq X_1 \leq X_{1\max}$$

Ограничение на значение первого фактора (технологического параметра):

$$X_{2\min} \leq X_2 \leq X_{2\max}$$

Ограничение на значение второго фактора (технологического параметра):

$$20 \leq f_Y(X_1, X_2) \leq 23$$

Ограничение на значение качества продукции:

$$X_m := \text{Minimize}(f_Z, X_1, X_2)$$

$$X_m = \begin{pmatrix} 72.467 \\ 29.227 \end{pmatrix}$$

### Полученные результаты оптимизации производственного процесса

Функция качества:

$$\text{начальное значение } f_Y(X_1, X_2) = 19.646$$

$$\text{в оптимальной точке } f_Y(X_{m1}, X_{m2}) = 23$$

$$\text{изменение на } \frac{f_Y(X_{m1}, X_{m2}) - f_Y(X_1, X_2)}{f_Y(X_1, X_2)} \cdot 100 = 17.074 \%$$

Функция себестоимости (целевая функция) - значение критерия оптимизации:

$$\text{начальное значение } f_Z(X_1, X_2) = 770.407$$

$$\text{в оптимальной точке } f_Z(X_{m1}, X_{m2}) = 701.862$$

$$\text{изменение на } \frac{f_Z(X_{m1}, X_{m2}) - f_Z(X_1, X_2)}{f_Z(X_1, X_2)} \cdot 100 = -8.897 \%$$

## 10.2. Рациональное распределение ограниченных ресурсов

### 10.2.1. Математические основы решения задач распределения ограниченных ресурсов

Задачи оптимального распределения ограниченных ресурсов решаются с помощью метода линейного программирования.

Впервые постановка задачи линейного программирования в виде предложения по составлению оптимального плана перевозок, позволяющего минимизировать суммарный километраж, дана в 1930 году советским экономистом А. Н. Толстым. В 1931 году венгерский математик Б. Эгервари рассмотрел математическую постановку и решил задачу линейного программирования, имеющую название «проблема выбора». Метод решения получил название *венгерского метода*.

Как известно, линейное программирование – это наука о методах исследования и отыскания наибольших и наименьших значений линейной функции  $Z$ , на неизвестные которой наложены линейные ограничения.

Поскольку  $\frac{\partial Z}{\partial x_j} \neq 0$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), то внутри области функции

экстремальные точки не существуют. Поэтому наибольшие и наименьшие значения линейной функции находятся на границе области, образованной системой ограничений.

Линейная функция  $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  называется функцией цели и совместно с системой ограничений образует математическую модель рассматриваемой задачи.

Методы линейного программирования применяются для решения следующих классов задач:

- задача оптимального распределения ограниченных ресурсов;
- задача об оптимальном плане перевозок;
- задача об оптимальном размещении производства;
- задача динамики производства и создания запасов;
- стохастическая задача комплектования очистного оборудования;
- задача составления рациона;
- задача об оптимальном составе смесей химической обработки земельных угодий;
- задача о внесении удобрений при максимальной экономии

моторного топлива.

Решением (планом) задачи линейного программирования называется вектор  $R = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющий системе ограничений и условию неотрицательности переменных. План, для которого линейная форма достигает минимума (максимума), является оптимальным.

Большое число экологических и эколого-экономических задач связано с распределением каких-либо ресурсов, как правило, ограниченных. Часто распределение ресурсов можно произвести не единственным образом. При этом каждый способ распределения ресурсов, оцениваемый с позиций некоторого критерия (прибыль, эффективность природоохранных мероприятий, время оценки экологической обстановки, урожайность сельскохозяйственных культур, степень загрязнения окружающей среды и др.) характеризуется определенным значением этого критерия. Поэтому естественно стремление найти такой вариант распределения (оптимальный), который бы гарантировал максимальное значение выбранного критерия.

Чтобы использовать методы математического программирования для вычисления оптимального варианта, проблему необходимо описать с помощью математических выражений (уравнений, неравенств и т. д.), т. е. составить ее математическую модель

В состав модели входят соотношения между переменными, отражающие специфические условия, которым должно удовлетворять решение, а также целевая функция, в математической форме выражающая поставленную цель с точки зрения выбранного критерия оптимальности.

Числовые значения целевой функции позволяют сопоставлять различные варианты решения и выстраивать ранжированные ряды предпочтения.

Если неизвестные входят в модель и в целевую функцию только в первой степени, то задача относится к разделу линейного программирования.

В задачах линейного программирования имеется система  $m$  линейных алгебраических уравнений с  $n$  неизвестными  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 &\vdots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m
 \end{aligned}
 \tag{10.1}$$

и линейная функция

$$z = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n \tag{10.2}$$

Требуется найти такое неотрицательное решение заданной системы, при которой  $z$  принимает минимальное (максимальное) значение.

Система, в которой все ограничения представляют собой уравнения, называется системой канонического вида.

В математической постановке основной задачи линейного программирования выделяются три составные части: целевая функция, система ограничений и условия неотрицательности переменных.

### **10.2.2. Решение примера распределения ресурсов с помощью математического пакета Mathcad**

Необходимо обратить внимание на то, что в данном случае система ограничений содержит только неравенства. В этом примере не выдвигается требование израсходовать полностью все финансовые ресурсы. Пример описывается листингом 10.3.

#### **Листинг 10.3. Программа решения задачи распределения ограниченных ресурсов с помощью пакета Mathcad**

Описание примера проблемы распределения ограниченных ресурсов

Для проектирования и строительства нескольких химических предприятий, намеренных выпускать продукцию разного наименования и разной стоимости, выделены ограниченные ресурсы, которые нужно оптимальным образом использовать.

Для размещения предприятий отведена промплощадка, ограниченная по размерам. Имеются свободные ресурсы воды, электроэнергии, пара. Можно рассчитывать на привлечение к работе на этих предприятиях не более того количества людей, которые проживают в этом регионе и к моменту окончания строительства завершают свое образование. Известны удельные нормы расхода всех ресурсов на единицу каждого вида продукции. Известны также удельные величины загрязнения окружающей среды при выработке тонны каждого вида товарной продукции.

Требуется найти такие оптимальные значения производственных мощностей проектируемых предприятий, при функционировании которых не будет превышен допустимый предел загрязнения выделенной территории и будет обеспечена максимальная прибыль от реализации выработанной продукции.

Начальные условия

| №  | Вид ресурсов                          | Единицы измерения | Удельные нормы расхода ресурсов для разных предприятий |       |       | Запасы ресурсов |
|----|---------------------------------------|-------------------|--|-------|-------|-----------------|
|    |                                       |                   | П1   | П2    | П3    |                 |
| 1. | Финансовые                            | тыс. у. е.        | 1,26   | 2,34  | 2,09  | 90 000          |
| 2. | Энергетические                        | МВт               | 8,4  | 3,9   | 5,3   | 1200            |
| 3. | Водные                                | км <sup>3</sup>   | 20   | 35    | 15    | 18 000          |
| 4. | Территориальные                       | км <sup>2</sup>   | 1,8  | 2,5   | 3,0   | 1700            |
| 5. | Людские                               | чел.              | 1,6  | 2,8   | 9,0   | 1850            |
| 6. | Выброс в атмосферу                    | т/год             | 0,043  | 0,027 | 0,069 | 1206            |
| 7. | Сброс в водоем                        | т/год             | 0,019  | 0,035 | 0,052 | 3325            |
|    | Удельная прибыль на единицу продукции | у. е.             | 190  | 270   | 325   |                 |

Стартовая точка

$$x1 := 0$$

$$x2 := 0$$

$$x3 := 0$$

Целевая функция

$$f(x1, x2, x3) := 190 \cdot x1 + 270 \cdot x2 + 325 \cdot x3$$

Given

Служебное слово вычислительного блока

Условие неотрицательности переменных

$$x1 \geq 0$$

$$x2 \geq 0$$

$$x3 \geq 0$$

Условие ограничения финансовых ресурсов

$$1.26 \cdot x1 + 2.34 \cdot x2 + 2.09 \cdot x3 \leq 90$$

Условие ограничения энергетических ресурсов

$$8.4 \cdot x1 + 3.9 \cdot x2 + 5.3 \cdot x3 \leq 1200$$

Условие ограничения водных ресурсов

$$20 \cdot x1 + 35 \cdot x2 + 15 \cdot x3 \leq 18000$$

Условие ограничения территориальных ресурсов

$$1.8 \cdot x1 + 2.5 \cdot x2 + 3.0 \cdot x3 \leq 1700$$

Условие ограничения людских ресурсов

$$1.6 \cdot x1 + 2.8 \cdot x2 + 9.0 \cdot x3 \leq 150$$

Условие ограничения выбросов в атмосферу

$$0.043 \cdot x1 + 0.027 \cdot x2 + 0.069 \cdot x3 \leq 12$$

Условие ограничения сбросов в водоем

$$0.019 \cdot x1 + 0.035 \cdot x2 + 0.052 \cdot x3 \leq 15$$

Использование встроенной функции для решения системы линейных неравенств

$$P := \text{Maximize}(f, x1, x2, x3)$$

**Результат решения**

Предельные производственные мощности предприятий

$$P = \begin{pmatrix} 62.094 \\ 0 \\ 5.628 \end{pmatrix}$$

Расчетная прибыль по региону

$$f(P_0, P_1, P_2) = 1.363 \times 10^4$$

В результате решения задачи по приведенным условиям устанавливается предельная производственная мощность для предприятия P1 в размере 62,094 тыс. т в год и предприятия P3 в размере 5,628 тыс. т в год с максимальной прибылью 13 млн. 630 тыс. у. е. Организовывать производство соответствующих видов продукции на предприятии P2 оказывается экономически и экологически нецелесообразно. Лимитирующим признаком выступает ресурс выброса загрязняющих веществ в атмосферу. Значит, с учетом всех требований, зафиксированных в системе ограничений, установлено, что производить продукцию можно только на двух предприятиях в количестве не более 4,5 % от потребности. Таким образом, найдено, что спрос на рассматриваемые виды продукции в границах региона за счет внутренних ресурсов полностью удовлетворить нельзя. Импорт этих товаров неизбежен.

### **10.2.3. Решение примера распределения ресурсов с помощью табличного процессора Excel**

Для решения задачи в Excel построим следующие таблицы с исходными данными и зададим все необходимые условия и ограничения для модуля Excel – *Поиск решения*. Начальные условия видны из рис. 10.1, 10.2.



| Microsoft Excel - Resurs.xls                              |   |  |               |               |               |          |   |  |
|---|---|--|---------------|---------------|---------------|----------|---|--|
| Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка |   |  |               |               |               |          |   |  |
| Arial 10 Ж К Ч  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| K26   |   |  |               |               |               |          |   |  |
| A   | B | C  | D             | E             | F             | G        | H |  |
| 1   |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 2   |   | <b>Объекты предприятия</b>   |               |               |               |          |   |  |
| 3   |   | Предприятие 1  |               |               |               |          |   |  |
| 4   |   | Предприятие 2  |               |               |               |          |   |  |
| 5   |   | Предприятие 3  |               |               |               |          |   |  |
| 6   |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 7   |   | <b>Производственные мощности каждого из цехов</b>                      |               |               |               |          |   |  |
| 8   |   | Предприятие 1  | 0,00          |               |               |          |   |  |
| 9   |   | Предприятие 2  | 0,00          | X             |               |          |   |  |
| 10  |   | Предприятие 3  | 0,00          |               |               |          |   |  |
| 11  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 12  |   | <b>Доступные ресурсы</b>   |               |               |               |          |   |  |
| 13  |   | Финансовые   | $M_1$         | 90,00         |               | р.       |   |  |
| 14  |   | Энергетические   | $M_2$         | 1 200,00      |               | МВт      |   |  |
| 15  |   | Выбросы в атмосферу  | $M_3$         | 12,00         |               | т/с      |   |  |
| 16  |   | Сброс сточных вод  | $M_4$         | 15,50         |               | т/с      |   |  |
| 17  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 18  |   | <b>Удельные нормы расхода каждого из ресурсов на единицу продукции</b> |               |               |               |          |   |  |
| 19  |   |  | Предприятие 1 | Предприятие 2 | Предприятие 3 |          |   |  |
| 20  |   | Финансовые   | 1,26          | 2,34          | 2,09          |          |   |  |
| 21  |   | Энергетические   | 8,40          | 3,90          | 5,30          |          |   |  |
| 22  |   | Выбросы в атмосферу  | 0,04          | 0,03          | 0,07          |          |   |  |
| 23  |   | Сброс сточных вод  | 0,02          | 0,04          | 0,05          |          |   |  |
| 24  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 25  |   | <b>Система ограничений на расход ресурсов</b>                          |               |               |               |          |   |  |
| 26  |   | Финансовые   | 0,00          |               |               | $R_{уд}$ |   |  |
| 27  |   | Энергетические   | 0,00          |               |               |          |   |  |
| 28  |   | Выбросы в атмосферу  | 0,00          |               |               |          |   |  |
| 29  |   | Сброс сточных вод  | 0,00          |               |               |          |   |  |
| 30  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 31  |   | <b>Удельная прибыль для каждого цеха на единицу продукции, р.</b>      |               |               |               |          |   |  |
| 32  |   | Предприятие 1  | 190           |               |               |          |   |  |
| 33  |   | Предприятие 2  | 270           | P             |               |          |   |  |
| 34  |   | Предприятие 3  | 325           |               |               |          |   |  |
| 35  |   |  |               |               |               |          |   |  |
| 36  |   | <b>Прибыль предприятия (целевая функция)</b>                           |               |               |               |          |   |  |
| 37  |   | 0  | Z             |               |               |          |   |  |
| 38  |   |  |               |               |               |          |   |  |

Рис. 10.1. Начальные условия задачи

|    | A | B  | C                                  | D | E              | F     |  |
|----|---|--|------------------------------------|---|----------------|-------|--|
| 1  |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 2  |   | <b>Объекты предприятия</b>   |                                    |   |                |       |  |
| 3  |   | Предприятие 1  |                                    |   |                |       |  |
| 4  |   | Предприятие 2  |                                    |   |                |       |  |
| 5  |   | Предприятие 3  |                                    |   |                |       |  |
| 6  |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 7  |   | <b>Производственные мощности каждого из цехов</b>                      |                                    |   |                |       |  |
| 8  |   | =B3  | 0                                  | X |                |       |  |
| 9  |   | =B4  | 0                                  |   |                |       |  |
| 10 |   | =B5  | 0                                  |   |                |       |  |
| 11 |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 12 |   | <b>Доступные ресурсы</b>   |                                    |   |                |       |  |
| 13 |   | Финансовые   | M <sub>1</sub>                     |   | 90             |       |  |
| 14 |   | Энергетические   | M <sub>2</sub>                     |   | 1200           |       |  |
| 15 |   | Выбросы в атмосферу  | M <sub>3</sub>                     |   | 12             |       |  |
| 16 |   | Сброс сточных вод  | M <sub>4</sub>                     |   | 15,5           |       |  |
| 17 |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 18 |   | <b>Удельные нормы расхода каждого из ресурсов на единицу продукции</b> |                                    |   |                |       |  |
| 19 |   |  | =B3                                |   | =B4            | =B5   |  |
| 20 |   | =B13   | 1,26                               |   | 2,34           | 2,09  |  |
| 21 |   | =B14   | 8,4                                |   | 3,9            | 5,3   |  |
| 22 |   | =B15   | 0,043                              |   | 0,027          | 0,069 |  |
| 23 |   | =B16   | 0,019                              |   | 0,035          | 0,052 |  |
| 24 |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 25 |   | <b>Система ограничений на расход ресурсов</b>                          |                                    |   |                |       |  |
| 26 |   | =B20   | =D20*\$C\$8+E20*\$C\$9+F20*\$C\$10 |   | R <sub>я</sub> |       |  |
| 27 |   | =B21   | =D21*\$C\$8+E21*\$C\$9+F21*\$C\$10 |   |                |       |  |
| 28 |   | =B22   | =D22*\$C\$8+E22*\$C\$9+F22*\$C\$10 |   |                |       |  |
| 29 |   | =B23   | =D23*\$C\$8+E23*\$C\$9+F23*\$C\$10 |   |                |       |  |
| 30 |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 31 |   | <b>Удельная прибыль для каждого цеха на единицу продукции, р.</b>      |                                    |   |                |       |  |
| 32 |   | =B3  | 190                                | P |                |       |  |
| 33 |   | =B4  | 270                                |   |                |       |  |
| 34 |   | =B5  | 325                                |   |                |       |  |
| 35 |   |  |                                    |   |                |       |  |
| 36 |   | <b>Прибыль предприятия (целевая функция)</b>                           |                                    |   |                |       |  |
| 37 |   | =C32*C8+C33*C9+C34*C10   | Z                                  |   |                |       |  |
| 38 |   |  |                                    |   |                |       |  |

Рис. 10.2. Ячейки рабочего листа с выводом содержащихся в них формул

Вызовем диалоговое окно *Поиск решения* (рис. 10.3) и установим в его текстовых полях все необходимые данные.

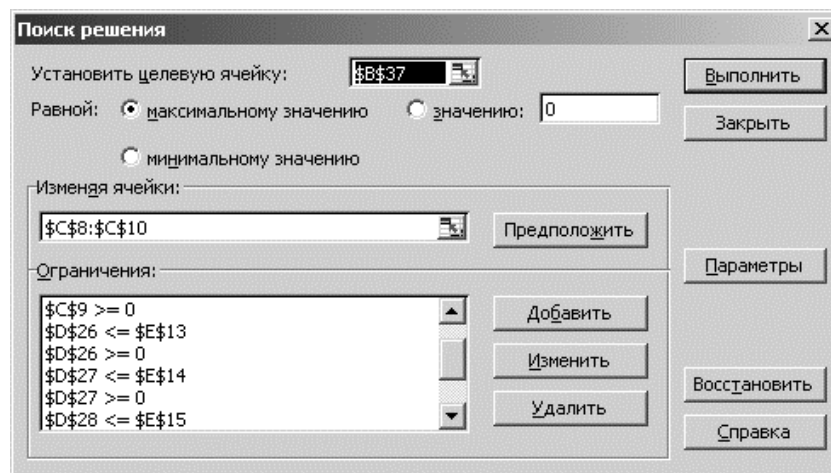


Рис. 10.3. Диалоговое окно *Поиск решения*

Видно, что задача будет решаться для нахождения максимального значения при выполнении всех ограничений, выраженных системой неравенств.

Решение данной задачи приведено на рис. 10.4.

| Cell    | Имя параметра                           | Нач. значение | Кон. Значение |
|---------|---|---------------|---------------|
| \$B\$37 | Прибыль предприятия (от всех цехов), р. | 0             | 10 686 375,32 |

| Cell    | Имя параметра | Нач. значение | Кон. Значение |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| \$C\$8  | Предприятие 1 | 0,00          | 0,00          |
| \$C\$9  | Предприятие 2 | 0,00          | 35 247,07     |
| \$C\$10 | Предприятие 3 | 0,00          | 3 598,97      |

| Cell    | Имя параметра       | Значение   | Неравенство      | Остаток      |
|---------|---------------------|------------|------------------|--------------|
| \$D\$26 | Финансовые          | 90 000,00  | \$D\$26<=\$E\$13 | 0,00         |
| \$D\$27 | Энергетические      | 156 538,13 | \$D\$27<=\$E\$14 | 1 043 461,87 |
| \$D\$28 | Выбросы в атмосферу | 12 000,00  | \$D\$28<=\$E\$15 | 0,00         |
| \$D\$29 | Сброс сточных вод   | 14 207,94  | \$D\$29<=\$E\$16 | 1 292,06     |
| \$D\$26 | Финансовые          | 90 000,00  | \$D\$26>=0       | 90 000,00    |
| \$D\$27 | Энергетические      | 156 538,13 | \$D\$27>=0       | 156 538,13   |
| \$D\$28 | Выбросы в атмосферу | 12 000,00  | \$D\$28>=0       | 12 000,00    |
| \$D\$29 | Сброс сточных вод   | 14 207,94  | \$D\$29>=0       | 14 207,94    |
| \$C\$8  | Предприятие 1       | 0,00       | \$C\$8>=0        | 0,00         |
| \$C\$9  | Предприятие 2       | 35 247,07  | \$C\$9>=0        | 35 247,07    |
| \$C\$10 | Предприятие 3       | 3 598,97   | \$C\$10>=0       | 3 598,97     |

Рис. 10.4. Результат решения задачи

В результате решения задачи получили значения предельных производственных мощностей промышленных предприятий.

При этом первое предприятие не должно функционировать, а второму и третьему разрешен выпуск не более 35,25 тыс. и 3,6 тыс. т в год с максимальной прибылью 10,686 млн. у. е.

### 10.3. Исследование и оптимизация свойств многокомпонентных смесей

#### 10.3.1. Описание проблемы

Все смеси делятся на аддитивные (вещества которых не взаимодействуют друг с другом) и смеси, свойства которых резко изменяется в зависимости от соотношения компонент.

Свойства аддитивных смесей определяется по простой пропорциональной зависимости без эксперимента.

Оценка свойства неаддитивных смесей нуждается в проведении эксперимента. Традиционно для построения диаграмм «состав – свойство» проводилось очень большое количество опытов, в результате которых получались модели, описывающие двух-, трех-, максимум четырехкомпонентные системы. Геометрический подход к изучению многокомпонентных систем привел к значительным

техническим трудностям, а физико-химический подход невозможно было реализовать из-за недостатка информации о физико-химических свойствах веществ. Симбиоз физико-химического анализа и теории планирования эксперимента открыл дальнейшие возможности экономного построения диаграмм.

Поверхности отклика свойств систем, встречающихся на практике, отличаются большим многообразием. Их приходится представлять различными моделями, начиная от плоскости и кончая сложными кусочно-гладкими поверхностями многофазных систем. Чаще всего это поверхности второго, третьего или четвертого порядков, следовательно, они достаточно сложны и характеризуются наличием одного или нескольких экстремумов, седловых точек или довольно резким несимметричным изменением свойства в некоторых областях диаграммы.

В полиномиальных моделях компоненты, образующие некоторую систему, не являются независимыми переменными, так как сумма концентраций компонентов – величина постоянная. Независимо могут варьироваться только  $(q - 1)$  компонентов, а содержание последнего  $(q - m)$ -го компонента определяется как остаток от общей суммы. Если при описании зависимостей свойств от состава используется полином обычного вида для независимых переменных, то он включает только  $(q - 1)$  компонентов системы. Эффект влияния  $q$ -го компонента на исследуемое свойство будет каким-то образом распределен по всем коэффициентам полинома.

Однако по существу задач при исследовании системы часто желательно иметь зависимость свойства от состава как функцию от всех  $q$  переменных.

Н. Кларингболд предложил способ построения моделей в независимой  $(q - 1)$ -координатной системе с предварительной двухэтапной процедурой ортогонализации исходных произвольных планов для  $q$  композиционных переменных. Получаемый в новой системе координат ортогональный план для компонентов системы может быть дополнен введением новых независимых факторов, например, характеризующих технологический режим процесса обработки составов. Однако после процедуры ортогонализации вместо исходных переменных, представляющих концентрации компонентов состава, в модели приходится иметь дело с новыми переменными, которые довольно сложно интерпретировать. Поэтому, несмотря на достаточную простоту преобразования и возможность решения сложных задач, в литературе не известно практических

примеров построения моделей такого вида, кроме работы самого автора.

В 1958 г. Г. Шеффе (Scheffe H. Experiments with mixtures. – J. Roy. Stat. Soc., B, 1958, v. 20, p. 344–360) предложил полиномы специального вида (приведенные полиномы), получив их из обычных полиномов для  $q$  переменных. В настоящее время полиномиальные модели приведенного вида наиболее распространены в задачах описания систем «состав – свойство».

Поверхности отклика, описываемые полиномиальными моделями, являются гладкими, а их сложность отражается только на степени полинома. Процесс графической интерпретации поверхностей в виде линий равных значений свойств на симплексе может быть выполнен на компьютере с выдачей диаграмм на печать.

Опыт нахождения составов с оптимальными значениями свойства включает применение различных поисковых методов. В некоторых работах используется метод Кифера – Джонсона или поиск эквектической точки по методу Бокса – Уилсона. Могут также использоваться градиентные методы поиска экстремума. Поиск оптимальной точки может производиться с регулированием величины шага изменения факторов в зависимости от количественного изменения функции отклика на предыдущих этапах. В принципе возможно применение любых поисковых методов, в частности, случайного поиска.

При оптимизации составов, как и в любых других факторных задачах, часто возникает сложность, связанная с наличием довольно большого количества параметров оптимизации. Для упрощения процесса оптимизации можно предварительно произвести выбор наиболее характерных свойств, применив метод корреляционного анализа, либо воспользоваться обобщенными показателями, например, функцией желательности, полезности или пригодности.

Наличие моделей зависимостей свойств от состава в широком диапазоне изменения концентраций компонентов позволяет производить поиск оптимальных составов при заданных требованиях одновременно для нескольких параметров оптимизации. Здесь можно воспользоваться методом множителей Лагранжа или какими-либо иными численными методами.

Любой произвольный насыщенный план или план, построенный с учетом априорной информации с наиболее целесообразным расположением экспериментальных точек на симплексе, при выборе соответствующей функции перехода можно привести к решетчатому

плану. Для обработки экспериментальных данных в этом случае можно воспользоваться способом, характерным для полученного решетчатого плана, или расширенной матрицей планирования, которая при определенном подборе вида полинома сводится к треугольной, что значительно упрощает расчет коэффициентов модели.

Большое значение при планировании экспериментов имеет возможность последовательного усложнения модели при композиционной достройке простых планов до более сложных. Однако все планы, кроме симплекс-центроидных, не обладают свойством последовательной композиционности, что в значительной мере затрудняет возможность увеличения степени полиномиальной модели в случае ее неадекватности.

На практике часто возникают задачи по исследованию зависимости свойств системы от состава не по всей поверхности изменения концентраций компонентов. В результате наложения ограничений локальная область может принять форму многогранника, параллелепипеда или симплекса.

### 10.3.2. Барицентрическая система координат

Общим способом, с помощью которого могут быть представлены пропорции в смеси, являются треугольные диаграммы (диаграммы на треугольнике, рис. 10.5). Например, предположим, что смесь состоит из трех компонент  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Любая смесь трех компонент может быть представлена точкой в системе координат на треугольнике, определяемой тремя переменными.

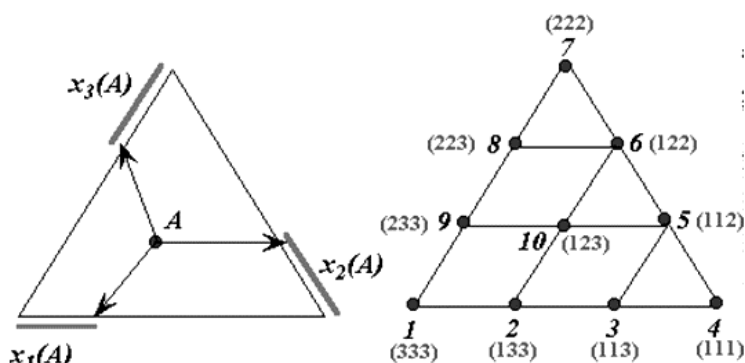


Рис. 10.5. Барицентрическая система координат

Сумма для каждой смеси равна 1,0, так что значения компонент в каждой аддитивной смеси могут интерпретироваться как пропорции. Если нанести эти данные на график в виде обычной 3-мерной

диаграммы рассеяния, станет очевидно, что точки образуют треугольник в 3-мерном пространстве. Только точки внутри треугольника, где сумма значений компонент равна 1, представляют настоящие смеси (рис. 10.6). Следовательно, можно просто наносить данные только в треугольник (в данном случае двумерный), чтобы изображать значения компонент (пропорции) для каждой смеси.

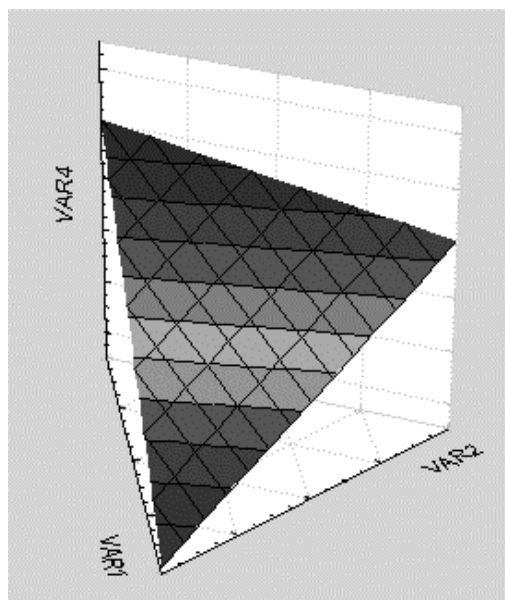


Рис. 10.6. Пример диаграммы аддитивных смесей

### 10.3.3. Выделение локальных областей в факторном пространстве

Выделение локальных областей в факторном треугольнике – дело сугубо творческое, рассчитанное на фантазию, опыт и интуицию пользователя. При этом следует помнить, что неудачное выделение области может привести не только к решению не той задачи, но и вообще к ненужности такого решения.

При выделении локальной области (рис. 10.7) следует придерживаться основных правил:

- точка (*A*) может располагаться в любом месте внешнего факторного треугольника;
- точка (*B*) должна быть вершинной точкой треугольника *ABC* и не может располагаться ниже точки (*A*);
- точка (*C*) должна располагаться правее точки (*A*);
- обегание вершин в треугольнике *ABC* должно осуществляться по часовой стрелке:  $(A) \Rightarrow (B) \Rightarrow (C)$ ;
- точка (*D*) в четырехкомпонентном симплексе должна занимать

самое верхнее положение (координата  $Z_4$  точки  $D$  должна быть максимальной).

Для конкретности допустим, что нам предстоит оптимизировать композиционный состав обойной бумаги, который должен включать волокнистую упрочняющую добавку ( $Z_1$ ), полимерную упрочняющую добавку ( $Z_2$ ) и макулатуру ( $Z_3$ ).

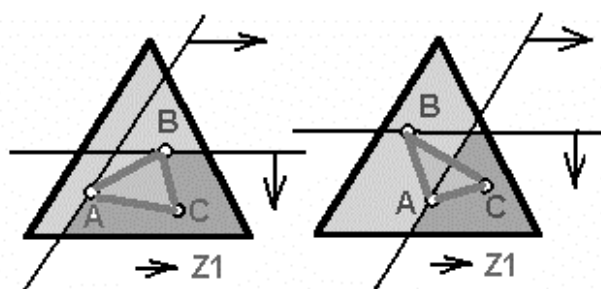


Рис. 10.7. Иллюстрация правил выделения локальных областей

В качестве исходных условий предлагается принять следующие требования:

- в одной тонне (1000 кг) обойной бумаги может содержаться от 140 до 390 кг волокнистой добавки;
- в одной тонне (1000 кг) обойной бумаги может содержаться от 125 до 400 кг полимерной добавки;
- содержание макулатуры определяется как разность  $1000 - (Z_1 + Z_2)$ .

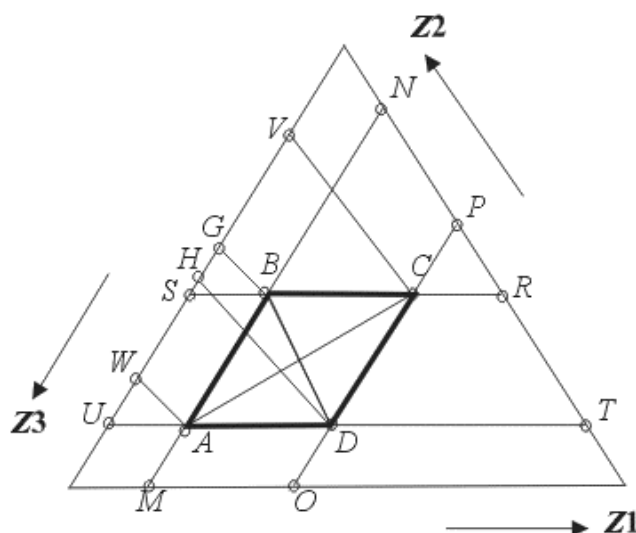


Рис. 10.8. Формализация процедуры выделения локальных областей факторного пространства



Многоугольники  $MNPO$ ,  $TUSR$  на рис. 10.8 характеризуют допустимые области эксперимента по каждому компоненту индивидуально, а пересечение многоугольников образует параллелограмм  $ABCD$ , в котором обеспечиваются заданные требования в совокупности и по  $Z1$ , и по  $Z2$ .

Ясно, что эксперимент надо планировать внутри области параллелограмма, при этом следует обратить внимание на то, что эксперимент можно спланировать по четырем вариантам, каждый из которых имеет свои особенности.

*Первый вариант.* В основу симплексной решетки положен треугольник  $ABC$ . Основные особенности варианта:

- полоса исследуемых значений  $Z3$  (макулатура) имеет максимальную ширину  $VW$ . Диапазон значений  $Z3$  составляет 210–735 кг;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области больших значений содержания компонента  $Z1$  (волокнистой добавки) в смеси;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области больших значений содержания компонента  $Z2$  (полимерной добавки) в смеси.

*Второй вариант.* В основу симплексной решетки положен треугольник  $ACD$ . Основные особенности варианта:

- полоса исследуемых значений  $Z3$  (макулатура) имеет максимальную ширину  $VW$ . Диапазон значений  $Z3$  составляет 210–735 кг;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области меньших значений содержания компонента  $Z1$  (волокнистой добавки) в смеси;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области меньших значений содержания компонента  $Z2$  (полимерной добавки) в смеси.

*Третий вариант.* В основу симплексной решетки положен треугольник  $ABD$ . Основные особенности варианта:

- полоса исследуемых значений  $Z3$  (макулатура) сдвинута в область больших значений и имеет ширину  $WG$ . Диапазон значений  $Z3$  составляет 460–735 кг;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области больших значений содержания компонента  $Z1$  (волокнистой добавки) в смеси;

- повышение плотности экспериментальных точек решеток

Шеффе достигается в области меньших значений содержания компонента  $Z_2$  (полимерной добавки) в смеси.

*Четвертый вариант.* В основу симплексной решетки положен треугольник  $DBC$ . Основные особенности варианта:

– полоса исследуемых значений  $Z_3$  (макулатура) сдвинута в область меньших значений и имеет ширину  $VH$ . Диапазон значений  $Z_3$  составляет 210–435 кг;

– повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области больших значений содержания компонента  $Z_1$  (волоконистой добавки) в смеси;

– повышение плотности экспериментальных точек решеток Шеффе достигается в области больших значений содержания компонента  $Z_2$  (полимерной добавки) в смеси.

#### 10.3.4. Тернарные поверхности и контуры

Можно теперь добавить четвертое измерение и нанести на график значения зависимой переменной или функцию (поверхность) для каждой точки внутри треугольника. Заметим, что поверхность отклика может быть представлена в виде контурной диаграммы, где контуры равной высоты наносятся в 2-мерном треугольнике либо в 3-мерном пространстве, где отклик наносится как расстояние поверхности от плоскости треугольника (рис. 10.9).

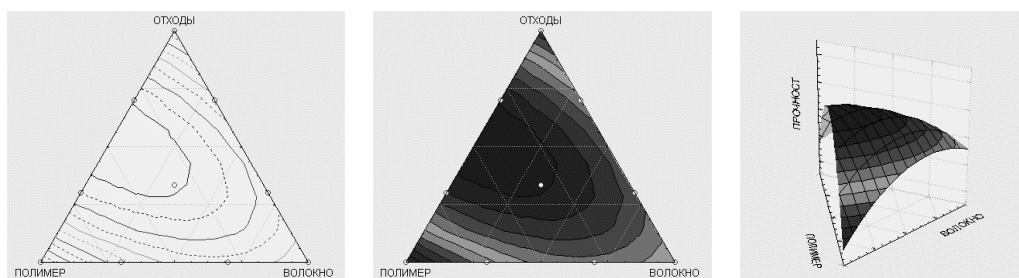


Рис. 10.9. Разновидности тернарных поверхностей

Далее на рис. 10.10–10.19 можно легко проследить порядок решения задачи с использованием пакета Statistica и с помощью пакета MathCAD (листинг 10.4).

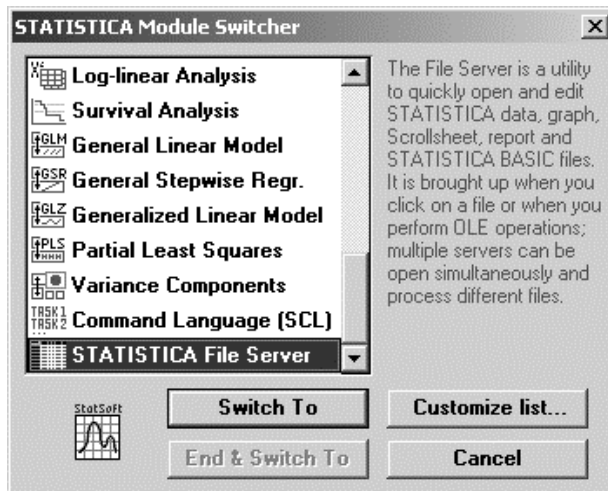


Рис. 10.10. Стартовое диалоговое окно пакета Statistica

|    | 1       | 2       | 3      | 4        | 5    |
|----|---------|---------|--------|----------|------|
|    | ПОЛИМЕР | ВОЛОКНО | ОТХОДЫ | ПРОЧНОСТ | VAR5 |
| 1  | 0,000   | 0,000   | 1,000  | 3,200    |      |
| 2  | ,300    | 0,000   | ,700   | 3,900    |      |
| 3  | ,700    | 0,000   | ,300   | 4,100    |      |
| 4  | 1,000   | 0,000   | 0,000  | 3,000    |      |
| 5  | ,700    | ,300    | 0,000  | 2,800    |      |
| 6  | ,300    | ,700    | 0,000  | 4,300    |      |
| 7  | 0,000   | 1,000   | 0,000  | 3,100    |      |
| 8  | 0,000   | ,700    | ,300   | 3,900    |      |
| 9  | 0,000   | ,300    | ,700   | 3,500    |      |
| 10 | ,300    | ,300    | ,300   | 3,900    |      |
| 11 |         |         |        |          |      |

Рис. 10.11. Матрица планирования эксперимента

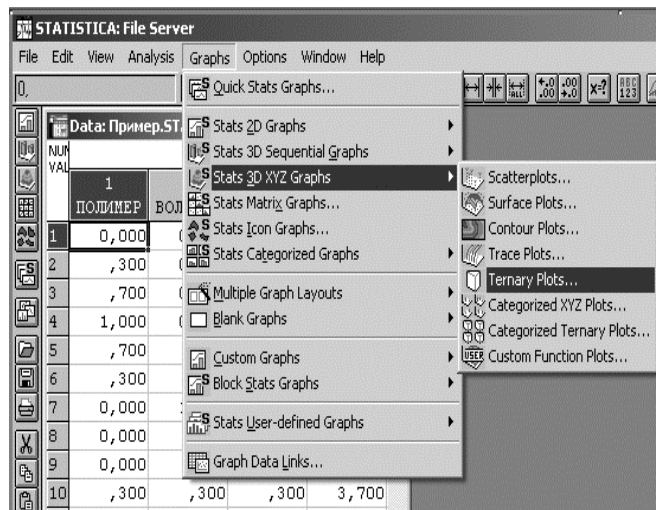


Рис. 10.12. Выбор вида диаграммы для построения тернарных поверхностей

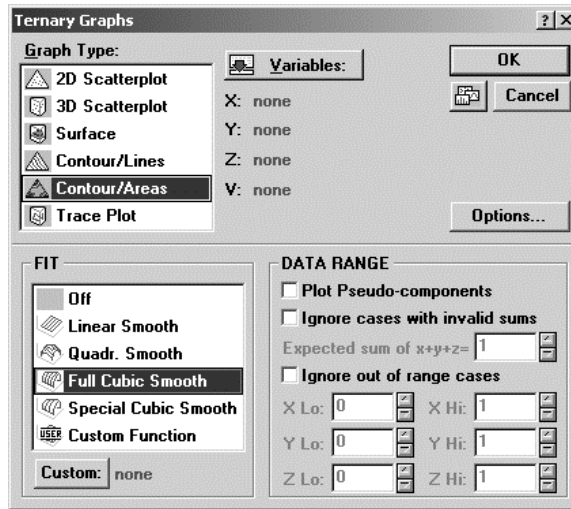


Рис. 10.13. Выбор вида тернарной поверхности

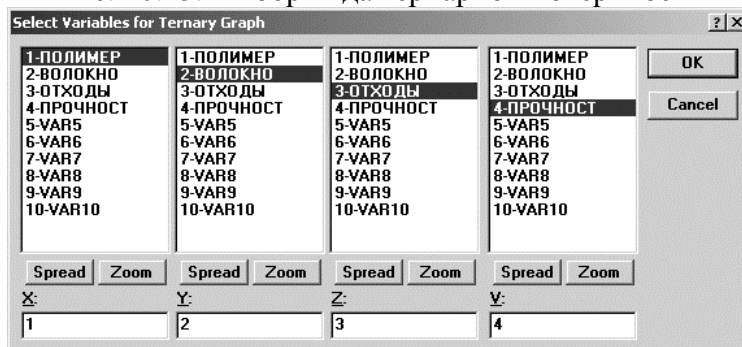


Рис. 10.14. Распределение осей диаграммы

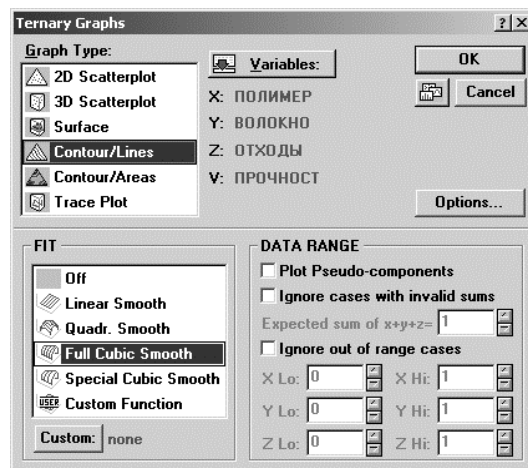


Рис. 10.15. Диалоговое окно после определения осей

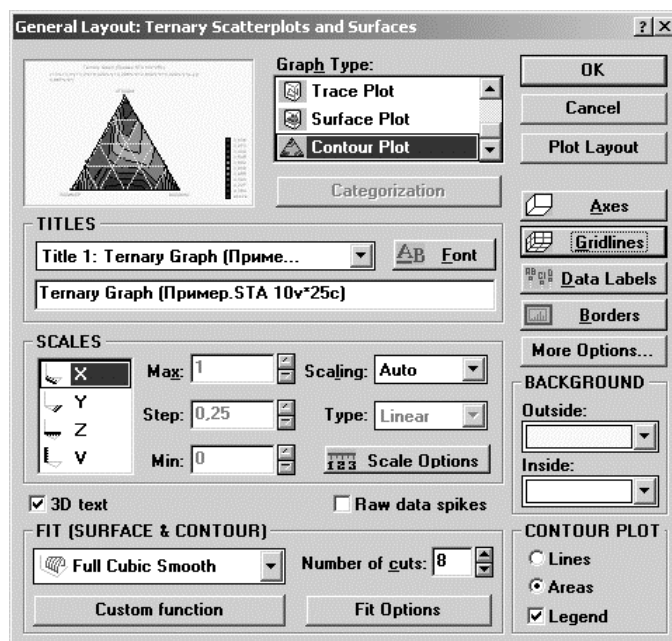


Рис. 10.16. Окно настроек для форматирования диаграммы

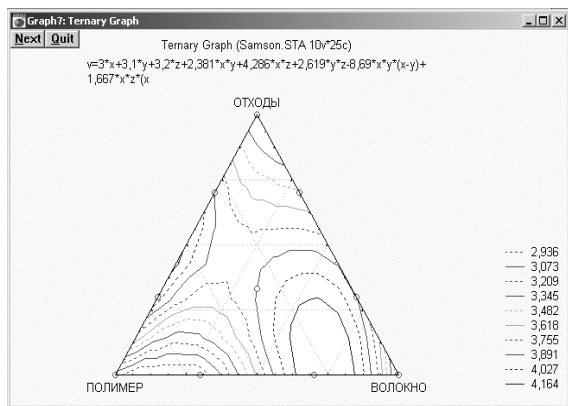


Рис. 10.17. Диаграмма в виде линий равного уровня

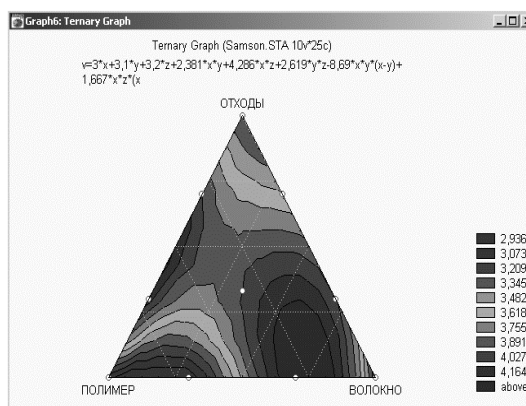


Рис. 10.18. Диаграмма в виде контурных плоскостей с одинаковым диапазоном значений

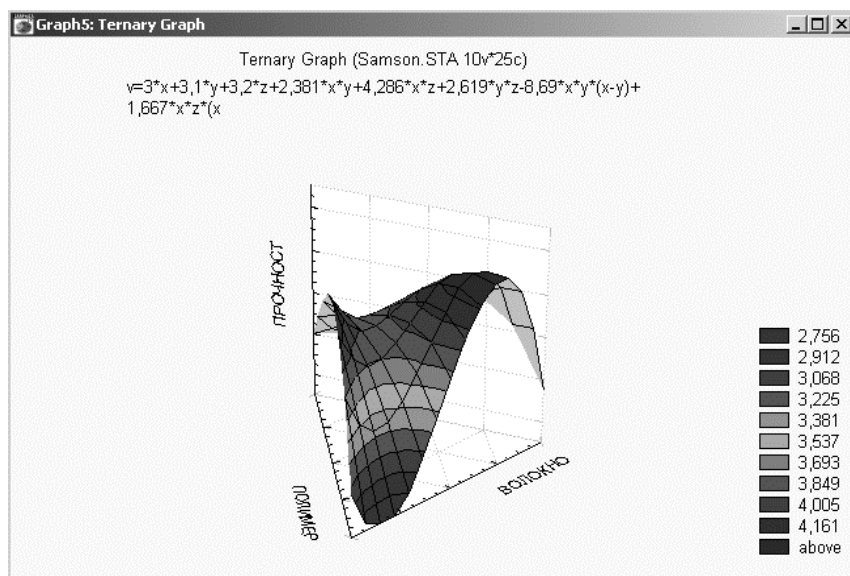


Рис. 10.19. Диаграмма в виде контурной поверхности с одинаковыми диапазонами значений

**Листинг 10.4. Программа решения задачи с помощью пакета Mathcad**

ORIGIN := 1

Общая масса смеси

R := 100

Значение шкал внешнего симплекса

$$Z := \begin{pmatrix} 25 & 15 & 60 \\ 5 & 15 & 80 \\ 50 & 20 & 30 \end{pmatrix}$$

Значение шкал внутреннего симплекса

$$X := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0.33 & 0 & 0.67 \\ 0.67 & 0 & 0.33 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.67 & 0.33 & 0 \\ 0.33 & 0.67 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 0.33 & 0.67 \\ 0.33 & 0.33 & 0.33 \end{pmatrix}$$

Формулы для расчета значений шкал внешнего симплекса по формулам для трехкомпонентного симплекса

$$Z1 = Z(1,1) + (Z(3,1) - Z(1,1)) \cdot X(I,1) + (Z(2,1) - Z(1,1)) \cdot X(I,2)$$

$$Z2 = Z(3,2) + (Z(2,2) - Z(3,2)) \cdot X(I,2) + (Z(1,2) - Z(3,2)) \cdot X(I,3)$$

$$Z3 = R - Z1 - Z2;$$

$i := 1..rows(X)$       $j := 1..cols(X)$

Первый столбец внешнего симплекса

$$C1_i := Z_{1,1} + (Z_{3,1} - Z_{1,1}) \cdot X_{i,1} + (Z_{2,1} - Z_{1,1}) \cdot X_{i,2}$$

$$C1^T =$$

|   | 1  | 2     | 3     | 4  | 5     | 6     | 7 | 8    | 9    | 10    |
|---|----|-------|-------|----|-------|-------|---|------|------|-------|
| 1 | 25 | 33.25 | 41.75 | 50 | 35.15 | 19.85 | 5 | 11.6 | 18.4 | 26.65 |

Второй столбец внешнего симплекса

$$C2_i := Z_{3,2} + (Z_{2,2} - Z_{3,2}) \cdot X_{i,2} + (Z_{1,2} - Z_{3,2}) \cdot X_{i,3}$$

$$C2^T =$$

|   | 1  | 2     | 3     | 4  | 5     | 6     | 7  | 8  | 9  | 10   |
|---|----|-------|-------|----|-------|-------|----|----|----|------|
| 1 | 15 | 16.65 | 18.35 | 20 | 18.35 | 16.65 | 15 | 15 | 15 | 16.7 |

Третий столбец внешнего симплекса

$$C3_i := R - C1_i - C2_i$$

$$C3^T =$$

|   | 1  | 2    | 3    | 4  | 5    | 6    | 7  | 8    | 9    | 10    |
|---|----|------|------|----|------|------|----|------|------|-------|
| 1 | 60 | 50.1 | 39.9 | 30 | 46.5 | 63.5 | 80 | 73.4 | 66.6 | 56.65 |

Соберем все столбцы в матрицу Z1 внешнего симплекса

$$Z1^{(1)} := C1$$

$$Z1^{(2)} := C2$$

$$Z1^{(3)} := C3$$

Результаты эксперимента, проведенного на основании данных внешнего симплекса

$$Z1 =$$

|    | 1     | 2     | 3     |
|----|-------|-------|-------|
| 1  | 25    | 15    | 60    |
| 2  | 33.25 | 16.65 | 50.1  |
| 3  | 41.75 | 18.35 | 39.9  |
| 4  | 50    | 20    | 30    |
| 5  | 35.15 | 18.35 | 46.5  |
| 6  | 19.85 | 16.65 | 63.5  |
| 7  | 5     | 15    | 80    |
| 8  | 11.6  | 15    | 73.4  |
| 9  | 18.4  | 15    | 66.6  |
| 10 | 26.65 | 16.7  | 56.65 |

$$Y := \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \\ 10 \\ 4 \\ 6 \\ 5 \\ 9 \\ 3 \\ 7 \\ 9 \end{pmatrix}$$

В решении задачи рабочего примера при построении диаграммы состав-свойство будем использовать модель третьего порядка

Рассчитаем коэффициенты модели третьего порядка

$$B_1 := Y_4$$

$$B_2 := Y_7$$

$$B_3 := Y_1$$

$$B_4 := 9 \cdot \frac{Y_5 + Y_6 - Y_4 - Y_7}{4}$$

$$B_5 := 9 \cdot \frac{Y_3 + Y_2 - Y_4 - Y_1}{4}$$

$$B_6 := 9 \cdot \frac{Y_8 + Y_9 - Y_7 - Y_1}{4}$$

$$B_7 := 9 \cdot \frac{3 \cdot Y_5 - 3 \cdot Y_6 - Y_4 + Y_7}{4}$$

$$B_9 := 9 \cdot \frac{3 \cdot Y_8 - 3 \cdot Y_9 - Y_7 + Y_1}{4}$$

$$B_8 := 9 \cdot \frac{3 \cdot Y_3 - 3 \cdot Y_2 - Y_4 + Y_1}{4}$$

$$B_{10} := 27 \cdot Y_{10} - 27 \cdot \frac{Y_5 + Y_6 + Y_2 + Y_3 + Y_8 + Y_9}{4} + 9 \cdot \frac{Y_4 + Y_7 + Y_1}{2}$$

Рассчитанные коэффициенты полинома третьей степени

|         |   |   |   |   |      |       |    |    |       |     |       |    |
|---------|---|---|---|---|------|-------|----|----|-------|-----|-------|----|
| $B^T =$ |   | 1 | 2 | 3 | 4    | 5     | 6  | 7  | 8     | 9   | 10    | 11 |
|         | 1 | 4 | 9 | 5 | -4.5 | 20.25 | -9 | 18 | 15.75 | -36 | 60.75 |    |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балабанов, И. Т. Риск-менеджмент / И. Т. Балабанов. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 420 с.
2. Бобровский, С. И. Delphi 7. Учебный курс / С. И. Бобровский. – СПб.: Питер, 2003. – 736 с.
3. Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1979, 1969. – 564 с.
4. Бродский, В. З. Введение в факторное планирование эксперимента / В. З. Бродский. – М.: Наука, 1976. – 223 с.
5. Валуев, В. Е. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Брест: БПИ, 1999. –



190 с.

6. Васильев, А. Н. Mathcad 13 на примерах / А. Н. Васильев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 528 с.

7. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 551 с.

8. Вольтер, Б. В. Устойчивость режимов работы химических реакторов / Б. В. Вольтер – М.: Химия, 1981. – 450 с.

9. Галушкин, А. И. Оперативная обработка экспериментальной информации / А. И. Галушкин, Ю. А. Зотов, Ю. А. Шикунов. – М.: Энергия, 1972. – 360 с.

10. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

11. Глущенко, В. В. Разработка управленческих решений. Прогнозирование, теория планирования экспериментов / В. В. Глущенко, И. И. Глущенко. – М.: Крылья, 1997. – 330 с.

12. Говорухин, В. Н. Компьютер в математическом исследовании. Учебный курс / В. Н. Говорухин, В. Г. Цибулин. – СПб.: Питер, 2001. – 624 с.

13. Грень, Е. Статистические игры и их применение / Е. Грень. – М.: Статистика, 1975. – 176 с.

14. Гурский, Д. А. Вычисления в Mathcad 12 / Д. А. Гурский, Е. С. Турбина. – СПб.: Питер, 2006. – 544 с.

15. Гутер, Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – 432 с.

16. Давыдов, Э. Г. Методы и модели теории антагонистических игр / Э. Г. Давыдов. – М.: МГУ, 1978. – 208 с.

17. Денденко, Л. Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л. Г. Денденко, В. В. Керженцев. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1977. – 112 с.

18. Додж, М. Эффективная работа: Excel – СПб.: Питер, 2002. – 992 с.

19. Дозорцев, В. М. Компьютерные тренажеры для производств химико-технологического типа: полезность, эффективность, окупаемость / В. М. Дозорцев, Н. В. Шестаков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1997. – № 7. – С. 14–17.

20. Долженков, В. А. Microsoft Excel 2003 / В. А. Долженков, Ю. В. Колесников. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 1024 с.

21. Екатеринославский, Ю. Ю. Управленческие ситуации: анализ

- и решения / Ю. Ю. Екатеринославский. – М.: Экономика, 1988. – 410 с.
22. Енюков, И. С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа: Пакет ППСА / И. С. Енюков. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 232 с.
23. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
24. Заичкин, Н. И. Экономико-математические модели и методы принятия решений в управлении производством / Н. И. Заичкин. – М.: ГУУ, 2000. – 270 с.
25. Закгейм, А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А. Ю. Закгейм. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
26. Ивченко, Г. И. Математическая статистика: учеб. пособие для вузов / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – М.: Высшая школа, 1984. – 248 с.
27. Информатика. Базовый курс / под ред. С. В. Симоновича. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 640 с.
28. Карданская, Н. Л. Принятие управленческого решения / Н. Л. Карданская. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 250 с.
29. Карпов, Б. И. Самоучитель Visio 2003 / Б. И. Карпов. – СПб.: Питер, 2006. – 335 с.
30. Кафаров, В. В. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств: методология проектирования и теория разработки оптимальных технологических схем / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, В. Л. Перов. – М.: Химия, 1979. – 320 с.
31. Кафаров, В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1976. – 464 с.
32. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Топологический принцип формализации / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов. – М.: Химия, 1979. – 394 с.
33. Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1976. – 736 с.
34. Кирьянов, Д. В. Самоучитель Mathcad 11 / Д. В. Кирьянов – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.
35. Кирьянов, Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
36. Кокорева, Т. А. Системный анализ процедур принятия управленческих решений / Т. А. Кокорева. – СПб: Изд-во СПбГУ, 1994. – 210 с.

37. Колесников, В. Л. Компьютерное моделирование в промышленной экологии: учеб. пособие / В. Л. Колесников, П. П. Урбанович, И. М. Жарский. – Минск: БГТУ, 2004. – 532 с.
38. Колесников, В. Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб. пособие / В. Л. Колесников, И. М. Жарский, П. П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2004. – 532 с.
39. Колесников, В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем / В. Л. Колесников. – Минск: БГТУ, 2003. – 312 с.
40. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
41. Кундас, С. П. Компьютерное моделирование технологических систем: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / С. П. Кундас, Т. А. Кашко. – Минск: БГУИР, 2004. – 164 с.
42. Кундас, С. П. Компьютерное моделирование технологических систем: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / С. П. Кундас, Б. А. Тонконогов, Т. А. Кашко. – Минск: БГУИР, 2004. – 192 с.
43. Леонтьев, Б. К. Microsoft Visio 2002 Professional: Построение проектов, диаграмм и бизнес-схем в операционной системе Microsoft Windows XP / Борис Леонтьев. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 512 с.
44. Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2003. – 448 с.
45. Математика в социологии. Моделирование и обработка информации. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
46. Мешалкин, В. П. Экспертные системы в химической технологии / В. П. Мешалкин. – М.: Химия, 1995. – 380 с.
47. Микулик, Н. А. Решение технических задач по теории вероятностей и математической статистике: справ. пособие / Н. А. Микулик, Г. И. Рейзина. – Минск: Вышэйшая школа, 1991. – 164 с.
48. Миллхоллон, М. Эффективная работа: Word 2002 / М. Миллхоллон. – СПб.: Питер, 2003. – 944 с.
49. Новиков, Г. И. Общая и экспериментальная химия: учеб. пособие для хим. и хим.-технол. вузов / Г. И. Новиков, И. М. Жарский. – Минск: Совр. школа, 2007. – 832 с.
50. Орский, В. Г. Планирование промышленных экспериментов / В. Г. Орский, Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
51. Очков, В. Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов / В. Ф. Очков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
52. Пен, Р. З. Планирование эксперимента в Statgraphics / Р. З. Пен. –

Красноярск: СибГТУ-Кларетианум, 2003. – 246 с.

53. Петров, М. Н. Компьютерная графика: учеб. для вузов / М. Н. Петров, В. П. Молочков. – СПб.: Питер, 2003. – 736 с.

54. Поршневу, С. В. Численные методы на базе Mathcad / С. В. Поршневу, И. В. Беленкова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 464 с.

55. Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. – М.: Металлургия, 1974. – 176 с.

56. Рейльян, Я. Р. Аналитическая основа принятия управленческих решений / Я. Р. Рейльян. – М.: Мир, 1991. – 360 с.

57. Ромакин, М. И. Математический аппарат оптимизационных задач / М. И. Ромакин. – М.: Статистика, 1975. – 112 с.

58. Свешников, А. А. Основы теории ошибок / А. А. Свешников. – Л.: ЛГУ, 1972. – 122 с.

59. Семененко, М. Г. Математическое моделирование в Mathcad / М. Г. Семененко. – М.: Альтекс-А, 2003. – 208 с.

60. Скатецкий, В. Г. Математическое моделирование физико-химических процессов / В. Г. Скатецкий. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 144 с.

61. Смирнов, Э. А. Разработка управленческих решений / Э. А. Смирнов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 190 с.

62. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тейлор – М.: Мир, 1985. – 272 с.

63. Феддема, Э. Эффективная работа: Access 2002 / Э. Феддема. – СПб.: Питер, 2003. – 950 с.

64. Фейгенбаум, А. Контроль качества продукции / А. Фейгенбаум. – М.: Экономика, 1986. – 471 с.

65. Харин, Ю. С. Практикум на ЭВМ по математической статистике / Ю. С. Харин, М. Д. Степанова. – Минск: Універсітэцкае, 1987. – 304 с.

66. Хэлворсон, М. Эффективная работа: Office XP / М. Хэлворсон, М. Янг. – СПб.: Питер, 2005. – 1072 с.

67. Цыгичко, В. Н. Руководителю о принятии решений / В. Н. Цыгичко. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 120 с.

68. Чарыков, А. К. Математическая обработка результатов химического анализа / А. К. Чарыков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 120 с.

69. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 384 с.

70. Щиголев, Б. М. Математическая обработка наблюдений / Б. М. Щиголев. – М.: Наука, 1969. – 344 с.

71. Эддоус, М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. – М.: ЮНИТИ, 1997. – 460 с.

72. Крупи, К. Microsoft Office XP. Версия 2002. Шаг за шагом /  
К. Крупи, К. Фрай. – М.: Изд-во ЭКОМ, 2003. – 720 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |   |
|---|---|
| ПРЕДИСЛОВИЕ .....                             | 5 |
| 1. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ КУРСОВЫХ РАБОТ..... | 4 |
| 1.1. Форма представления курсовых работ.....  | 4 |
| 1.2. Средства выполнения курсовых работ.....  | 4 |
| 1.3. Структура и состав курсовых работ .....  | 5 |
| 1.4. Разновидности курсовых работ .....       | 5 |

|  |    |
|--|----|
| 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ<br>КУРСОВЫХ РАБОТ .....       | 6  |
| 3. ТЕКСТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВЫХ РАБОТ .....                         | 12 |
| 3.1. Горький опыт ошибок .....                                       | 12 |
| 3.1.1. Игнорирование стилей .....                                    | 12 |
| 3.1.2. Присоединение документов с разным<br>форматированием .....    | 14 |
| 3.1.3. Трудности при создании и форматировании<br>таблиц .....       | 15 |
| 3.1.4. Ошибки при создании и редактировании формул .....             | 16 |
| 3.1.5. Трудности при создании оглавления .....                       | 16 |
| 3.1.6. Неудачность выбора цветовых сочетаний .....                   | 17 |
| 3.1.7. Ошибки при выборе шрифтов .....                               | 18 |
| 3.1.8. Перемещения иллюстраций и подрисуночных<br>подписей .....     | 18 |
| 3.1.9. Ошибки при создании и форматировании списков .....            | 19 |
| 3.2. Полезные практические приемы .....                              | 21 |
| 3.2.1. Создание вспомогательной панели инструментов .....            | 21 |
| 3.2.2. Параметры страницы для курсовых работ .....                   | 25 |
| 3.2.3. Ориентация страниц для курсовых работ .....                   | 25 |
| 3.2.4. Нумерация страниц .....                                       | 26 |
| 3.2.5. Стилевое оформление курсовых работ .....                      | 27 |
| 3.2.5.1. Рекомендуемые стили .....                                   | 29 |
| 3.2.5.2. Создание стилей .....                                       | 32 |
| 3.2.6. Шаблоны курсовых работ .....                                  | 25 |
| 3.2.7. Шрифтовое оформление курсовых работ .....                     | 37 |
| 3.2.8. Стили заголовков разделов .....                               | 38 |
| 3.2.9. Создание стиля заголовков таблиц .....                        | 39 |
| 3.2.10. Сетка таблиц для курсовых работ .....                        | 40 |
| 3.2.11. Способ размещения рисунков и подрисуночных<br>подписей ..... | 42 |
| 3.2.12. Надписи на рисунках .....                                    | 43 |
| 3.2.13. Способ размещения математических формул .....                | 44 |
| 3.2.14. Цветовое оформление курсовых работ .....                     | 46 |
| 3.2.14.1. Элементы теории цвета .....                                | 46 |
| 3.2.14.2. Цветовая модель RGB .....                                  | 47 |
| 3.2.14.3. Программа Color Point для подбора цвета .....              | 47 |
| 3.2.14.4. Выбор цветового решения курсовой<br>работы .....           | 48 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.15. Сравнение и объединение документов.....                           | 49        |
| 3.2.16. Некоторые приемы редактирования<br>сканированных документов ..... | 50        |
| <b>4. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ<br/>РАСЧЕТОВ.....</b>           | <b>53</b> |
| 4.1. Математический пакет Mathcad .....                                   | 53        |
| 4.1.1. Введение в Mathcad.....  | 53        |
| 4.1.2. Основы вычислений .....  | 57        |
| 4.1.2.1. Переменные и оператор присваивания .....                         | 57        |
| 4.1.2.2. Работа с массивами. ....   | 58        |
| 4.1.2.3. Системные переменные и строковые<br>константы.....               | 60        |
| 4.1.3. Ввод и редактирование формул .....                                 | 61        |
| 4.1.4. Операторы и функции .....  | 63        |
| 4.1.4.1. Арифметические операторы.....                                    | 64        |
| 4.1.4.2. Вычислительные операторы. ....                                   | 65        |
| 4.1.4.3. Матричные операторы.....   | 65        |
| 4.1.4.4. Функции. ....  | 66        |
| 4.1.5. Графическое оформление результатов расчетов .....                  | 67        |
| 4.1.5.1. Создание графика. ....   | 67        |
| 4.1.5.2. X-Y график двух векторов.....                                    | 68        |
| 4.1.5.3. X-Y график функции.....  | 69        |
| 4.1.5.4. Построение рядов данных. ....                                    | 70        |
| 4.1.5.5. Форматирование графиков.....                                     | 70        |
| 4.1.5.6. Трехмерные графики.....  | 73        |
| 4.1.5.7. Гистограммы. ....  | 76        |
| 4.1.6. Основы программирования инженерных расчетов...                     | 77        |
| 4.2. Приложение Microsoft Excel.....                                      | 85        |
| 4.2.1. Основные основы.....   | 85        |
| 4.2.1.1. Рабочее пространство. ....                                       | 86        |
| 4.2.1.2. Модель ячейки. ....  | 87        |
| 4.2.2. Управление свойствами ячеек.....                                   | 87        |
| 4.2.2.1. Выравнивание. ....   | 88        |
| 4.2.2.2. Ориентация текста.....   | 90        |
| 4.2.2.3. Числовые форматы.....  | 90        |
| 4.2.2.4. Выделение информации добавлением<br>границ.....                  | 91        |
| 4.2.2.5. Цвет фона. ....  | 91        |
| 4.2.2.6. Копирование форматов.....  | 91        |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.2.7. Изменение ширины столбцов и высоты строк. ....        | 92  |
| 4.2.2.8. Скрытие строк и столбцов.....                         | 92  |
| 4.2.2.9. Условное форматирование.....                          | 93  |
| 4.2.3. Управление свойствами листа и книги.....                | 93  |
| 4.2.3.1. Параметры страницы. ....                              | 93  |
| 4.2.3.2. Настройка параметров редактирования.....              | 93  |
| 4.2.3.3. Выделение ячеек.....                                  | 94  |
| 4.2.3.4. Поиск и замена данных.....                            | 95  |
| 4.2.3.5. Перемещение данных командами Вырезать и Вставить..... | 96  |
| 4.2.3.6. Использование буфера обмена.....                      | 96  |
| 4.2.3.7. Перемещение ячеек перетаскиванием. ....               | 97  |
| 4.2.3.8. Вставка в лист строк и столбцов.....                  | 97  |
| 4.2.3.9. Использование автозаполнения. ....                    | 98  |
| 4.2.3.10. Проверка типовых ошибок.....                         | 98  |
| 4.2.4. Приемы работы .....                                     | 99  |
| 4.2.4.1. Ввод информации.....                                  | 99  |
| 4.2.4.2. Ввод числовых значений. ....                          | 100 |
| 4.2.4.3. Ввод текста.....                                      | 100 |
| 4.2.4.4. Ввод даты и времени.....                              | 101 |
| 4.2.4.5. Ввод комментариев. ....                               | 102 |
| 4.2.4.6. Ввод формул. ....                                     | 102 |
| 4.2.4.7. Относительные и абсолютные адреса ячеек. ...          | 104 |
| 4.2.4.8. Вставка графических фрагментов. ....                  | 104 |
| 4.2.4.9. Вставка фоновой графики. ....                         | 104 |
| 4.2.4.10. Вставка гиперссылок. ....                            | 105 |
| 4.2.4.11. Использование стилей. ....                           | 107 |
| 4.2.5. Организация вычислений.....                             | 108 |
| 4.2.5.1. Построение формул.....                                | 108 |
| 4.2.5.2. Дублирование формул .....                             | 108 |
| 4.2.5.3. Использование относительных и абсолютных ссылок ..... | 108 |
| 4.2.5.4. Редактирование формул .....                           | 108 |
| 4.2.5.5. Комбинация арифметических операторов....              | 109 |
| 4.2.5.6. Скобки и порядок вычислений. ....                     | 109 |
| 4.2.5.7. Использование встроенных функций.....                 | 109 |
| 4.2.5.8. Многофункциональная функция СУММ.....                 | 110 |
| 4.2.5.9. Вставка функции. ....                                 | 110 |
| 4.2.5.10. Значение ошибки.....                                 | 112 |



|   |     |
|---|-----|
| 4.2.5.11. Использование имен в функциях.....                        | 112 |
| 4.2.5.12. Использование имен в формулах.....                        | 113 |
| 4.2.5.13. Редактирование и удаление имен. ....                      | 113 |
| 4.2.6. Программные средства для инженерных расчетов ...             | 113 |
| 4.2.6.1. Инструмент анализа Описательная статистика. ....           | 113 |
| 4.2.6.2. Скользящее среднее. ....                                   | 114 |
| 4.2.6.3. Регрессия. ....  | 116 |
| 4.2.6.4. Корреляция.....  | 118 |
| 4.2.6.5. Команда Подбор параметра. ....                             | 120 |
| 4.2.6.6. Оптимизация с помощью надстройки Поиск решения. ....       | 121 |
| 4.2.7. Оформление расчетов.....                                     | 123 |
| <br>  |     |
| 5. ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВЫХ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ.....           | 131 |
| 5.1. Редактор векторной компьютерной графики Microsoft Visio.....   | 131 |
| 5.1.1. Особенности и назначение векторной компьютерной графики..... | 131 |
| 5.1.2. Основные понятия.....  | 133 |
| 5.1.3. Главные компоненты графического редактора.....               | 133 |
| 5.1.3.1. Категории. ....  | 133 |
| 5.1.3.2. Шаблоны. ....  | 134 |
| 5.1.3.3. Трафареты. ....  | 135 |
| 5.1.3.4. Мастера.....   | 137 |
| 5.1.4. Интерфейс графического редактора.....                        | 138 |
| 5.1.4.1. Меню и панели инструментов. ....                           | 139 |
| 5.1.4.2. Окно формул (ShapeSheet). ....                             | 143 |
| 5.1.5. Приемы работы при создании изображения.....                  | 143 |
| 5.1.5.1. Создание фигуры с помощью инструментов рисования.....      | 143 |
| 5.1.5.2. Создание фигуры перетаскиванием с панели трафарета. ....   | 145 |
| 5.1.5.3. Тюнинг.....  | 147 |
| 5.1.5.4. Связывание.....  | 147 |
| 5.1.5.5. Объединение фигур.....                                     | 150 |
| 5.1.5.6. Соединение фигур.....                                      | 150 |
| 5.1.5.7. Разделение фигур. ....                                     | 151 |
| 5.1.5.8. Группирование.....   | 152 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1.6. Приемы работы с документом.....                            | 153 |
| 5.1.6.1. Структура документа. ....                                | 153 |
| 5.1.6.2. Навигация по документу. ....                             | 153 |
| 5.1.6.3. Просмотр и редактирование изображения. ...               | 154 |
| 5.2. Редактор векторной компьютерной графики SmartDraw .....      | 155 |
| 5.2.1. Интерфейс.....   | 155 |
| 5.2.2. Библиотеки шаблонов .....                                  | 157 |
| 5.2.3. Палитры трафаретов .....                                   | 157 |
| 5.3. Графические редакторы химических формул .....                | 158 |
| <br>  |     |
| 6. СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ                       | 162 |
| 6.1. Программный продукт HelpScribble.....                        | 162 |
| 6.1.1. Особенности инсталляции .....                              | 162 |
| 6.1.2. Предварительная подготовка.....                            | 162 |
| 6.1.3. Рабочий интерфейс .....                                    | 163 |
| 6.1.4. Формирование разделов (топиков) .....                      | 164 |
| 6.1.5. Настройка опций проекта.....                               | 165 |
| 6.1.6. Создание и редактирование оглавления.....                  | 166 |
| 6.2. Редактор гипертекстовых справочных систем htm2chm .....      | 168 |
| 6.2.1. Предварительная подготовительная работа.....               | 169 |
| 6.2.1.1. Общий информационный файл. ....                          | 169 |
| 6.2.1.2. Структура справочной системы.....                        | 169 |
| 6.2.1.3. Подготовка файлов-разделов. ....                         | 170 |
| 6.2.1.4. Создание заголовков файлов-разделов. ....                | 170 |
| 6.2.1.5. Создание файлов-разделов в формате HTML. ....            | 170 |
| 6.2.1.6. Директория с файлами формата WinWord ...                 | 172 |
| 6.2.1.7. Директория с файлами формата HTML .....                  | 172 |
| 6.2.2. Основные сведения о программном средстве.....              | 173 |
| 6.2.2.1. Загрузка программы. ....                                 | 174 |
| 6.2.2.2. Файл содержания.....                                     | 174 |
| 6.2.2.3. Перечень разделов информационно-справочной системы. .... | 175 |
| 6.2.3. Приемы работы с программой.....                            | 175 |
| 6.2.3.1. Последовательность выполнения операций....               | 175 |
| 6.2.3.2. Перечень разделов справочной системы .....               | 176 |
| 6.2.3.3. Упорядочивание разделов справочной системы. ....         | 176 |
| 6.2.3.4. Рубрикация содержания. ....                              | 176 |
| 6.2.3.5. Создание файла оглавления справочной                     |     |

|  |     |
|--|-----|
| системы. ....  | 177 |
| 6.2.4. Получение Help-файла .....  | 177 |
| 6.2.4.1. Основные операции процесса получения<br>Help-файла .....  | 177 |
| 6.2.4.2. Настройки компиляции.....   | 177 |
| 6.2.4.3. Запуск компиляции. ....   | 178 |
| 6.2.4.4. Просмотр созданного Help-файла. ....  | 178 |
| <br>   |     |
| 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСОВЫХ РАБОТ<br>И ПРОЕКТОВ .....   | 179 |
| 7.1. Учебный объект моделирования и оптимизации .....  | 179 |
| 7.1.1. Обоснование выбора базового объекта .....   | 179 |
| 7.1.2. Описание проблемы.....  | 181 |
| 7.1.3. Характеристика производственного комплекса .....  | 182 |
| 7.1.4. Основные представления о факторах<br>технологического процесса.....                                   | 184 |
| 7.1.5. Основные представления о показателях качества<br>продукции.....                                       | 185 |
| 7.2. Системная математическая модель производственного<br>комплекса.....                                     | 186 |
| 7.3. Программный модуль «Complex».....   | 187 |
| 7.3.1. Назначение программного модуля.....   | 187 |
| 7.3.2. Возможности программного модуля .....   | 187 |
| 7.3.3. Вывод результатов и текущей информации.....   | 188 |
| 7.4. Практические рекомендации по использованию<br>программного модуля.....                                  | 188 |
| 7.4.1. Анализ и оптимизация работы производственного<br>комплекса .....                                      | 188 |
| 7.4.2. Организация сбора информации .....  | 191 |
| <br>   |     |
| 8. КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ<br>ИЗМЕРЕНИЙ .....   | 193 |
| 8.1. Статистическая обработка результатов измерений .....  | 193 |
| 8.1.1. Понятие результата статистической обработки<br>данных .....   | 193 |
| 8.1.2. Проверка статистических гипотез. Критерии<br>согласия .....   | 196 |
| 8.1.3. Проверка нормальности закона распределения с<br>помощью центральных ста-<br>тистических моментов..... | 197 |

|  |            |
|--|------------|
| 8.1.4. Проверка нормальности распределения с помощью критерия Пирсона .....                      | 198        |
| 8.1.5. Проверка нормальности распределения с помощью критерия максимального правдоподобия .....  | 200<br>209 |
| 8.2. Корреляционный анализ химико-технологических систем..                                       | 210        |
| 8.2.1. Коэффициент парной корреляции.....  | 212        |
| 8.2.2. Коэффициент множественной корреляции.....   |            |
| 8.3. Комплексная оценка качества продукции по нескольким признакам.....                          | 216        |
| 8.3.1. Правила настраивания функции желательности по кривой с односторонними ограничениями.....  | 218        |
| 8.3.2. Правила настраивания функции желательности по кривой с двухсторонними ограничениями ..... | 219<br>220 |
| 8.3.3. Пример настраивания функции желательности .....   |            |
| 8.3.4. Расчет комплексной оценки качества продукции с помощью пакета MathCAD .....               | 221        |
| 8.3.5. Расчет обобщенного критерия качества с помощью табличного процессора MS Excel.....        | 226        |
| <br>   |            |
| 9. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....                                | 231<br>231 |
| 9.1. Построение информационных сетей .....   |            |
| 9.1.1. Практические рекомендации по выбору информационной сети .....                             | 231        |
| 9.1.2. Построение информационной сети в среде Excel на языке VBA.....                            | 234<br>238 |
| 9.2. Получение и визуализация полиномиальных моделей .....                                       |            |
| 9.2.1. Методология получения полиномиальных моделей.....   | 238<br>241 |
| 9.2.2. Постановка задачи и вычисление параметров.....  | 242        |
| 9.2.3. Метод наименьших квадратов.....   | 243        |
| 9.2.4. Выбор оптимальной степени многочлена.....   | 244        |
| 9.2.5. Проверка адекватности математических моделей....  | 244        |
| 9.2.6. Формализация задачи .....   | 244        |
| 9.2.6.1. Требования к факторам.....  |            |
| 9.2.6.2. Выбор и обоснование количества факторов.....  | 245        |
| 9.2.6.3. Выбор и обоснование числа уровней варьирования каждого фактора. ....                    | 246        |

|  |     |
|--|-----|
| 9.2.6.4. Выбор и обоснование границ факторного пространства .....                          | 246 |
| 9.2.6.5. Выбор метода построения информационной сети. ....                                 | 246 |
| 9.2.7. Структура программы получения полиномиальных моделей .....                          | 247 |
| 9.2.7. Структура программы получения полиномиальных моделей .....                          | 253 |
| 9.3. Графические модели химико-технологических систем ....                                 | 253 |
| 9.3.1. Понятие химико-технологической системы .....  | 254 |
| 9.3.2. Основные понятия и определения теории графов. ....                                  | 255 |
| 9.3.3. Матричная форма графа .....   | 257 |
| 9.3.4. Понятие мультиграфа .....   | 257 |
| 9.3.5. Описание рабочего примера .....   | 258 |
| 9.3.6. Топологическая модель рабочего примера .....  |     |
| 9.4. Принятие решений в условиях неопределенности и риска .....                            | 262 |
| 9.4.1. Парные матричные игры с нулевой суммой .....  | 263 |
| 9.4.2. Понятие платежной матрицы и цены игры .....   | 265 |
| 9.4.3. Решение парных матричных игр .....  |     |
| 9.4.3.1. Решение матричной игры методом линейного программирования .....                   | 265 |
| 9.4.3.2. Решение матричных игр методом итераций .....                                      | 266 |
| 9.4.3.2. Решение матричных игр методом итераций .....                                      | 267 |
| 9.4.4. Описание решения рабочего примера .....   |     |
| 9.4.4.1. Решение парной матричной игры с сознательным противником методом итераций. ....   | 268 |
| 9.4.4.1. Решение парной матричной игры с несознательным противником методом итераций. .... | 274 |
| 9.5. Логические модели химико-технологических систем .....                                 | 274 |
| 9.5.1. Основы математической логики .....  | 276 |
| 9.5.2. Логика высказываний .....   | 277 |
| 9.5.3. Алгебра высказываний .....  | 278 |
| 9.5.4. Логические операции .....   | 289 |
| 9.5.5. Правила записи сложных формул .....   | 282 |
| 9.5.7. Исчисление высказываний .....   | 282 |
| 9.5.8. Интерпретация формул .....  | 283 |
| 9.5.9. Сложность вычислений .....  | 283 |
| 9.5.10. Описание рабочего примера .....  | 286 |
| 9.5.11. Формализация объекта .....   |     |

|  |     |
|--|-----|
| 10. РЕШЕНИЕ КОМПРОМИССНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ .....  | 290 |
| 10.1. Оптимизация технологических режимов.....   | 290 |
| 10.1.1. Схема программы решения компромиссных оптимизационных задач .....                    | 290 |
| 10.1.2. Пример некорректного решения оптимизационной задачи.....                             | 293 |
| 10.1.3. Применение встроенных функций MathCAD для решения оптимизационных задач .....        | 298 |
| 10.2. Рациональное распределение ограниченных ресурсов ...                                   | 302 |
| 10.2.1. Математические основы решения задач распределения ограниченных ресурсов.....         | 302 |
| 10.2.2. Решение примера распределения ресурсов с помощью математического пакета MathCAD..... | 304 |
| 10.2.3. Решение примера распределения ресурсов с помощью табличного процессора Excel .....   | 307 |
| 10.3. Исследование и оптимизация свойств многокомпонентных смесей .....                      | 308 |
| 10.3.1. Описание проблемы .....  | 311 |
| 10.3.2. Барицентрическая система координат.....  | 312 |
| 10.3.3. Выделение локальных областей в факторном пространстве .....                          | 315 |
| 10.3.4. Тернарные поверхности и контуры .....  | 321 |
| ЛИТЕРАТУРА .....   |     |

Учебное издание

**Колесников** Виталий Леонидович  
**Жарский** Иван Михайлович  
**Урбанович** Павел Павлович

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебное пособие

Редактор *О. П. Соломевич*  
Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*

Подписано в печать 10.07.2008. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 20,1.  
Тираж 250 экз. Заказ .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.

Переплетно-брошюровочные процессы  
произведены в ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».  
220600. Минск, Красная, 23. Заказ .