

В. А. Касторнова

Структуры данных и алгоритмы их обработки на языке программирования Паскаль

Рекомендовано Федеральным государственным
бюджетным образовательным учреждением
высшего профессионального образования «Московский
государственный технологический университет "СТАНКИН"»
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки
«Прикладная математика и информатика»

Регистрационный номер рецензии 111 от 14 апреля 2014 г. ФИРО

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2016

УДК 004.438 Pascal
ББК 32.973.26-018.1
К28

Касторнова В. А.

К28 Структуры данных и алгоритмы их обработки на языке программирования Паскаль: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 304 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3622-6

Учебное пособие предназначено для изучения теоретического материала и выполнения лабораторных работ при изучении дисциплин «Алгоритмы и алгоритмические языки», «Структуры и алгоритмы обработки данных». Материал книги условно разбит на две части: язык программирования Паскаль и структуры данных. Описание языка включает: алфавит, структуру программ, типизацию данных, операторы, ввод/вывод данных, алгоритмические структуры, подпрограммы, процедуры и функции, типы данных, массивы, работу с файлами. При рассмотрении структур данных описываются структуры прямого и последовательного доступа, сортировка массивов, линейные списки и двоичные деревья, включая операции с ними. Рассмотрение типов данных и управляющих структур сопровождается графическими схемами и диаграммами, способствующими лучшему пониманию изучаемого материала. Вопросы и задания лабораторных работ также могут использоваться для организации практических и самостоятельных работ. Материалы книги будут полезны учителям информатики средних и специальных учебных заведений, готовящих специалистов в области информатики и вычислительной техники.

На сайте издательства находится электронный архив с исходными кодами примеров программ.

Для студентов и преподавателей профильных вузов

УДК 004.438 Pascal
ББК 32.973.26-018.1

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

О. А. Козлов, д-р пед., наук, канд. техн. наук, проф., завлабораторией ФГБНУ «ИУО РАО»
С. Н. Григорьев, д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»

Подписано в печать 31.07.15.

Формат 60×90¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 19.

Тираж 600 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Первая Академическая типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28

ISBN 978-5-9775-3622-6

© Касторнова В. А., 2016

© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2016

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Общая характеристика языков программирования	13
1.1. Языки программирования	13
1.2. Трансляторы	14
1.3. История создания языков	16
1.4. Базовые структуры языков программирования.....	17
1.5. Синтаксические диаграммы.....	19
1.6. Вопросы для повторения.....	21
Глава 2. Описание языка Паскаль	22
2.1. Алфавит и словарь языка	22
2.1.1. Лексемы	22
2.1.2. Разделители	23
2.2. Структура паскаль-программы	24
2.3. Типизация данных	26
2.4. Объявление данных	28
2.5. Вопросы для повторения.....	31
Глава 3. Простые операторы. Ввод/вывод данных	32
3.1. Оператор присваивания и выражения.....	33
3.2. Операторы процедур. Ввод/вывод информации	36
3.2.1. Процедуры ввода <i>READ</i> и <i>READLN</i>	36
3.2.2. Процедуры вывода <i>WRITE</i> и <i>WRITELN</i>	38
3.3. Оператор перехода <i>GOTO</i>	40
3.4. Вопросы для повторения.....	41
3.5. Лабораторная работа	42

Глава 4. Составные операторы.

Организация ветвлений и циклов.....	45
4.1. Составной и пустой операторы	45
4.2. Организация ветвлений. Операторы выбора	47
4.2.1. Оператор ветвления <i>IF</i>	47
4.2.2. Оператор выбора <i>CASE</i>	49
4.3. Организация циклов. Операторы повторения	52
4.3.1. Оператор <i>WHILE</i>	52
4.3.2. Оператор <i>REPEAT</i>	54
4.3.3. Оператор <i>FOR</i>	56
4.4. Вопросы для повторения.....	59
4.5. Лабораторная работа № 1	60
4.6. Лабораторная работа № 2	63

Глава 5. Организация подпрограмм.

Процедуры и функции	67
5.1. Процедуры и их типизация	67
5.1.1. Встроенные процедуры	69
5.1.2. Процедуры пользователя.....	70
5.1.3. Процедуры без параметров	71
5.1.4. Фактические и формальные параметры.....	73
5.1.5. Локальные и глобальные переменные	74
5.1.6. Процедуры с параметрами-значениями	76
5.1.7. Процедуры с параметрами-переменными	78
5.1.8. Комбинированные процедуры	80
5.2. Функции пользователя. Рекурсивные функции.....	83
5.2.1. Определение функции	83
5.2.2. Функции пользователя	85
5.2.3. Рекурсивные функции	86
5.3. Вопросы для повторения.....	90
5.4. Лабораторная работа	90

Глава 6. Массивы. Данные типа *ARRAY*..... **94**

6.1. Одномерные массивы	95
6.2. Многомерные массивы.....	97
6.3. Способы работы с массивами.....	99
6.4. Вопросы для повторения.....	102
6.5. Лабораторная работа	102

Глава 7. Обработка литерных величин.	
Данные типа <i>CHAR</i> и <i>STRING</i>.....	105
7.1. Тип данных <i>CHAR</i>	105
7.2. Массивы литер	107
7.3. Тип данных <i>STRING</i>	109
7.4. Строковые функции и процедуры	112
7.5. Вопросы для повторения.....	116
7.6. Лабораторная работа	117
Глава 8. Множества. Данные типа <i>SET</i>.....	119
8.1. Определение множества.....	119
8.2. Операции над множествами.....	121
8.2.1. Принадлежность к множеству	122
8.2.2. Операции над множествами.....	123
8.2.3. Сравнение множеств.....	124
8.3. Вывод элементов множества	125
8.4. Вопросы для повторения.....	128
8.5. Лабораторная работа	128
Глава 9. Комбинированный тип — записи.	
Данные типа <i>RECORD</i>	131
9.1. Определение типа <i>RECORD</i>	131
9.2. Оператор <i>WITH</i>	135
9.3. Записи с вариантами.....	138
9.4. Вопросы для повторения.....	142
9.5. Лабораторная работа	143
Глава 10. Файловый тип	145
10.1. Определение и описание типизированного файла	147
10.2. Типы файлов. Процедуры работы с файлами.....	148
10.3. Основные приемы работы с файлами	153
10.4. Текстовые файлы	157
10.5. Вопросы для повторения.....	165
10.6. Лабораторная работа	165
Глава 11. Ссылочный тип. Переменные с указателями	168
11.1. Определение ссылочного типа	169
11.2. Создание динамических переменных. Процедура <i>NEW</i>	171
11.3. Переменные с указателями	173
11.4. Действия с указателями.....	175

11.5. Действия над динамическими переменными	179
11.6. Вопросы для повторения.....	182
11.7. Лабораторная работа	183

Глава 12. Данные. Структуры данных.....185

12.1. Данные и их виды	185
12.2. Данные простых типов	187
12.3. Массивы фиксированного размера	188
12.4. Массивы переменного размера.....	190
12.4.1. Очередь	190
12.4.2. Стек.....	193
12.4.3. Список	194
12.5. Вопросы для повторения.....	197

Глава 13. Структуры прямого доступа.

Способы сортировки массивов198

13.1. Прямое включение.....	199
13.2. Прямой выбор	201
13.3. Прямой обмен (метод пузырька, всплытие)	203
13.4. Сравнительная характеристика способов	204
13.5. QUICK-сортировка	205
13.6. Вопросы для повторения.....	209
13.7. Лабораторная работа	209

Глава 14. Структуры последовательного доступа.

Линейные списки.....211

14.1. Обработка цепочек	211
14.1.1. Векторное представление	212
14.1.2. Динамическая цепочка.....	214
14.2. Очередь	220
14.2.1. Формирование очереди.....	221
14.2.2. Просмотр очереди	225
14.2.3. Добавление звена к очереди	226
14.2.4. Исключение звена из очереди	227
14.3. Стек	228
14.3.1. Формирование стека	229
14.3.2. Добавление нового звена	231
14.3.3. Удаление звена из стека	231
14.3.4. Доступ к N -му звену стека	233
14.3.5. Вывод стека на экран монитора	234

14.4. Дек.....	234
14.4.1. Формирование дека.....	235
14.4.2. Вставка звена в дек.....	237
14.4.3. Удаление звена из дека.....	240
14.5. Общие приемы работы с линейными списками.....	241
14.5.1. Вывод списка.....	242
14.5.2. Поиск элемента в списке.....	242
14.5.3. Сортировка линейных списков.....	243
14.5.4. Организация составных структур из линейных списков.....	244
14.6. Вопросы для повторения.....	248
14.7. Лабораторная работа.....	250

Глава 15. Деревья.....253

15.1. Характеристика древовидной структуры данных.....	253
15.2. Построение идеально сбалансированного дерева.....	255
15.3. Операции над сбалансированными деревьями.....	260
15.3.1. Поиск элемента.....	260
15.3.2. Вставка элемента.....	263
15.3.3. Удаление звена.....	265
15.4. Построение дерева поиска.....	267
15.5. Операции над деревом поиска.....	270
15.5.1. Вставка элемента.....	270
15.5.2. Поиск элемента.....	275
15.5.3. Удаление элемента.....	277
15.6. Общие операции над деревьями.....	278
15.6.1. Поиск и вставка элемента.....	278
15.6.2. Поиск и удаление элемента.....	283
15.6.3. Удаление деревьев.....	285
15.7. Вопросы для повторения.....	287
15.8. Лабораторная работа.....	289

Приложение 1. Установка системы программирования ABC Pascal.NET.....291

Приложение 2. Описание электронного архива.....294

Библиографический список.....295

Предметный указатель.....297

Предисловие

Книга предназначена для изучения теоретического материала и выполнения лабораторных, практических и самостоятельных работ студентами различных форм обучения, учебный план которых содержит дисциплины: "Информатика", "Алгоритмизация и основы программирования", "Основы информатики и программирования", "Алгоритмы и структуры данных" и т. п.

Выбор языка программирования Паскаль в качестве средства изучения структур данных и алгоритмов их обработки обусловлен тем, что он прост, а следовательно, ему легко обучаться и обучать, но при этом он содержит основные типы данных и реализует все конструкции структурного и объектно-ориентированного программирования, присущие современным языкам программирования высокого уровня. Его строгий синтаксис обеспечивает упреждающую диагностику ошибок, что очень важно для начинающих изучение структурного программирования. Кроме того, этот язык поддерживается многими средами программирования, такими как Borland Pascal, Turbo Pascal, Delphi, Lazarus и др.

Книга включает в себя 15 глав. Их условно можно разбить на две части: язык программирования Паскаль (*см. главы 1–11*) и структуры данных (*см. главы 12–15*).

Глава 1 посвящена истории создания языка Паскаль, в ней приведены его базовые алгоритмические конструкции. В *главе 2* представлен материал о структуре программы на языке Паскаль, опи-

саны типы данных и некоторые встроенные функции. В *главе 3* изложены основные объекты языка (переменные, выражения) и описаны простейшие операторы языка (присваивания, ввода/вывода), а также примеры программ линейной структуры. *Глава 4* предназначена для изучения основных структурных операторов: ветвления, выбора, циклов. В *главе 5* читатель познакомится с подпрограммами (процедурами и функциями), механизмом передачи параметров между подпрограммой и основной программой, а также с рекурсивными функциями. *Глава 6* посвящена изучению алгоритмов описания и обработки массивов на примерах их сортировки. *Главы 7–9* содержат учебный материал по изучению строк, множеств и записей. *Глава 10* ориентирована на изучение и использование файлового типа данных в Паскале. На примерах показан механизм прямого и последовательного доступа к файлам. Описаны основные принципы работы с типизированными и текстовыми файлами. *Глава 11* посвящена рассмотрению указателей, завершающих обзор статических типов данных языка Паскаль, и служит основой для перехода к динамическим структурам.

Остальной материал книги посвящен вопросам изучения структур данных и алгоритмам их обработки на языке программирования Паскаль. В *главе 12* рассматриваются теоретические и практические подходы к построению структур прямого и последовательного доступа. *Глава 13* посвящена изучению способов работы со структурами прямого доступа на примере сортировки массивов. *Глава 14* предназначена для изучения линейных списков общего вида (цепочек), а также их частных случаев: очередей, стеков и деков. Завершается книга (*см. главу 15*) рассмотрением технологий создания двоичных деревьев (идеально сбалансированных и деревьев поиска), а также проведением операций с ними: поиск, вставка и удаление звеньев.

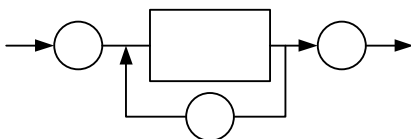
К книге прилагается электронный архив (описание *см. в приложении 2*), в котором приведены примеры обработки всех рассмотренных структур данных на языке Паскаль. Каждая структура данных представлена программой, содержащей набор процедур/функций и тело программы, осуществляющих обработку этой структуры. Программы, представленные в настоящем посо-

бии, разработаны для системы PascalABC.NET, но их легко можно адаптировать для других систем программирования на языке Паскаль. Приложение содержит 10 разделов, программы для каждого из которых представлены файлами в форматах PAS и EXE.

* * *

Выражаю признательность и благодарность всем, кто консультировал и помогал в написании текста книги и подготовке электронного приложения, в частности сотрудникам кафедры информатики Череповецкого государственного университета: профессору *Касторнову А. Ф.*, старшему преподавателю *Пышницкому К. М.*, инженеру-программисту *Лаврову В. В.*

ГЛАВА 1



Общая характеристика языков программирования

На этапе становления программирования программы для ЭВМ составлялись в машинных кодах, что создавало трудности при использовании этих программ для разных типов машин. Поэтому были разработаны языки программирования, позволяющие составлять программы на уровне манипуляции структурами данных, независимо от машинных кодов конкретной ЭВМ. Кроме того, это позволяло составлять программы людям, далеким от программирования в машинных кодах, на языке, близком к математике.

1.1. Языки программирования

Языки программирования — это формальные языки, применяемые для описания данных и алгоритма их обработки на ЭВМ. Они подразделяются на языки низкого и высокого уровней.

Язык низкого уровня представляет собой систему команд в машинных кодах. Программист при этом общается с машиной на "ее языке", который понимается ЭВМ без преобразований введенной программы. Примером такого языка является ассемблер. Этот язык используется, в основном, программистами-профессионалами, однако, обладает одним существенным недостатком — машинной зависимостью, т. е. невозможностью непосредственного переноса программы на другой тип машин (на другой тип процессора).

Работа с языками высокого уровня в ЭВМ происходит более сложным образом. Вначале команды языка преобразуются в шестнадцатеричные коды, затем транслируются (каждому коду ставится в соответствие одна или несколько машинных команд), и только после этого происходит процесс исполнения. Примерами языков высокого уровня являются Паскаль, Бейсик, Си и др. В отличие от языков низкого уровня, на языках высокого уровня удобнее программировать, т. е. общаться с машиной. Однако часто с простотой общения теряются некоторые преимущества системы команд процессора, поэтому практически в каждом языке высокого уровня есть возможность писать команды непосредственно на машинном языке (программировать в "кодах", а точнее — делать ассемблерные вставки).

1.2. Трансляторы

Процесс перевода программы с языка программирования высокого уровня на машинный язык называется *трансляцией*. Трансляция осуществляется с помощью специальной программы, называемой *транслятором*. Различают два вида трансляции: интерпретация и компиляция, а соответствующие им программы — интерпретаторы и компиляторы. Трансляторы с языков являются составной частью системы программирования, поэтому запуск программы предполагает сначала трансляцию, а потом собственно ее выполнение.

Рассмотрим процесс выполнения программы в режимах интерпретации и компиляции.

Интерпретация.

1. Машина считывает очередной оператор программы.
2. При обнаружении ошибки интерпретация прерывается, и машина указывает на это.
3. Переводит оператор в свои, ей понятные команды.
4. Выполняет переведенные команды.
5. Освобождает место в памяти после выполнения этих команд.

6. Переходит к п. 1, пока не выполнятся все операторы, т. е. пока не дойдет до указателя конца программы.

Процесс интерпретации можно проиллюстрировать в виде схемы, представленной на рис. 1.1.

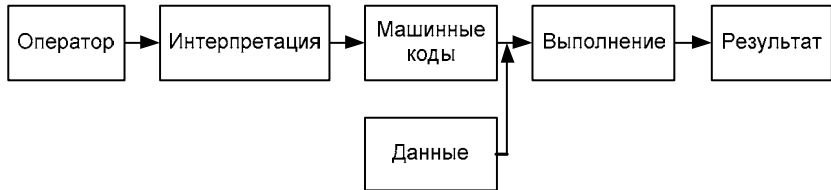


Рис. 1.1. Схема работы в режиме интерпретации

Компиляция.

1. Машина считывает очередной оператор программы.
2. При попадании на ошибку процесс компиляции прерывается, и машина указывает на это.
3. Переводит оператор в свои, ей понятные команды.
4. Переходит к п. 1, пока не дойдет до указателя конца программы.
5. Выполняет переведенную программу целиком.

Схема работы в режиме компиляции показана на рис. 1.2.

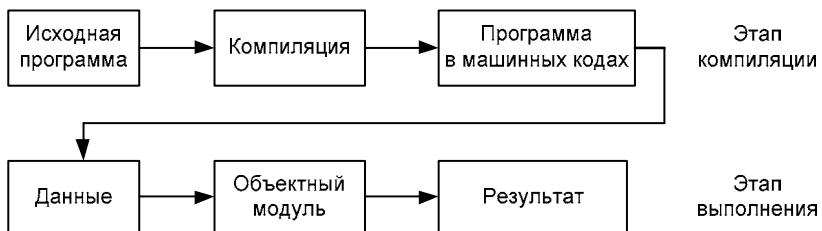


Рис. 1.2. Схема работы в режиме компиляции

Из описания указанного выше процесса выполнения программы следует, что интерпретатор работает медленнее, при запуске не обнаруживает сразу всех ошибок (а лишь при попадании на них

во время выполнения очередного оператора). Достоинством интерпретации является то, что она позволяет работать с программой в диалоговом режиме. Ее недостаток заключается в том, что при повторном запуске программы процесс ее трансляции повторяется заново.

Компилятор транслирует программу целиком и по ее завершении выдает машинный код, который может быть сохранен в виде отдельного файла и использоваться при работе с этой программой. Однако это требует выделения дополнительного объема памяти, т. к. в конце трансляции в ней находятся и исходный текст программы на языке высокого уровня, и ее машинный перевод.

1.3. История создания языков

Одним из первых языков программирования, созданных специально для учебных целей, был Бейсик, разработанный в 1964 году в Дартмутском колледже (США). Его создание преследовало цель предоставить возможность студентам пользоваться ЭВМ без длительной предварительной подготовки. Предполагалось также, что Бейсик будет использоваться в качестве универсального языка программирования людьми, не имеющими опыта работы на ЭВМ — рядовыми пользователями. Одним из достоинств языка является его удобство для работы в интерактивном режиме, что послужило использованию Бейсика при разработке диалоговых обучающих программ.

К концу 1960-х годов сложилась ситуация, когда для профессиональных целей использовались языки Фортран, Кобол, ПЛ/1 и пр., а большинство представителей учебного мира предпочитало Бейсик. Естественно, что многие считали такую ситуацию неудовлетворительной. По этой причине две группы исследователей приступили к созданию универсальных языков программирования, отвечающих требованиям того времени. Эти языки должны были включать в себя все достоинства существующих языков, иметь логически обоснованные структуры и быть легкими для восприятия. Такие языки были созданы. Одним из них стал Алгол-68, другой был разработан в Институте информатики Цюриха

(Швейцария) Никлаусом Виртом в 1971 году. Этот язык получил название Паскаль в честь великого французского ученого XVII века, сумевшего первым в мире изобрести автоматическое устройство для проведения вычислений. Транслятор с этого языка был разработан в 1973 году.

Хотя Паскаль почти так же прост, как и Бейсик, он имеет перед ним ряд преимуществ. Так, Паскаль способствует внедрению технологии программирования, основанной на поэтапном построении программы (принцип "сверху вниз"), состоящей из небольших, четко определенных процедур (структурный подход). Таким образом, преодолеваются главные недостатки, присущие Бейсику, — неэффективная организация подпрограмм и использование безусловного перехода. Разработанный Н. Виртом вариант языка является его стандартом. Помимо стандарта языка, в связи с разработкой различных компиляторов, появились версии Паскаля, среди которых наиболее популярными являются системы Turbo Pascal, Borland Pascal (для ОС MS-DOS), Delphi для ОС Windows.

1.4. Базовые структуры языков программирования

Понятие "структурное программирование" появилось в 1968 году, когда была опубликована статья одного из видных программистов того времени — нидерландского ученого Э. Дейкстры, в которой обосновывалась нежелательность применения оператора безусловного перехода (оператора, позволяющего сделать переход от одного оператора к другому, находящемуся в любом месте программы). Он четко обосновал, что использование основных базовых конструкций способствует обеспечению ясности и читабельности при составлении и дальнейшей доработке программ.

Таким образом, *структурным языком* назовем тот, у которого блок-схема любой программы состоит только из базовых структур и каждая структура имеет один вход и один выход. Имеются четыре типа управляющих структур: следование, выбор (ветвление, развилка), повторение (цикл) и группирование (вложение).

Для реализации *следования* существует правило: все команды выполняются в порядке их расположения в программе. Для выбора и повторения есть свои специальные инструкции (операторы, команды). *Выбор* предусматривает проверку условия с последующим выполнением одной или нескольких команд, в зависимости от истинности или ложности условия. Выбор (развилка) бывает полным или неполным (рис. 1.3, 1.4), в зависимости от числа выполняемых им операторов.

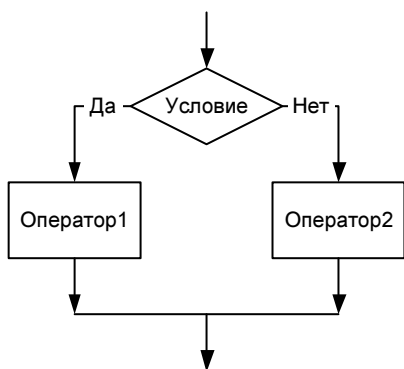


Рис. 1.3. Полная развилка

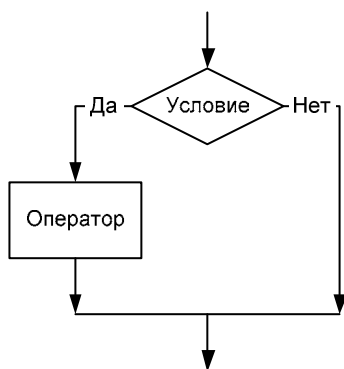


Рис. 1.4. Неполная развилка

Конструкция полной развилки работает следующим образом: при истинности "Условия" выполняется первая серия команд "Оператор1", а при ложности — вторая серия команд "Оператор2". В неполной развилке также осуществляется ветвление, но только в ней по истинности условия выполняется серия команд "Оператор", а при ложности — не выполняется никаких действий.

Повторение (цикл) представляет собой конструкцию, которая состоит, как и выбор, из проверки условия и серии команд. Однако, в отличие от выбора, данная серия команд может выполняться неоднократно, в зависимости от результата проверки условия. Повторения подразделяются на циклы с предусловием (циклы "пока") (рис. 1.5) и циклы с постусловием (циклы "до") (рис. 1.6). Серия команд "Тело цикла" повторяется до тех пор, пока "Условие" истинно в первом случае и ложно — во втором.

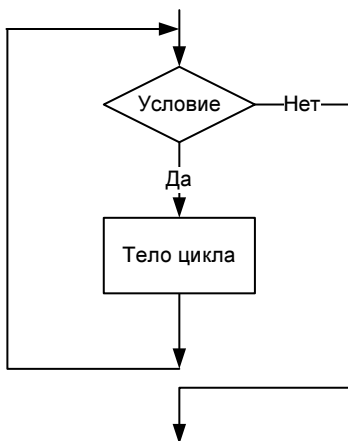


Рис. 1.5. Цикл с предусловием

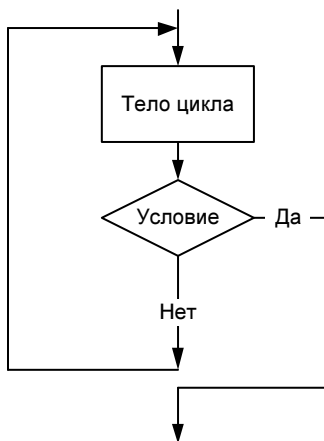


Рис. 1.6. Цикл с постусловием

Группирование означает объединение одной или нескольких конструкций внутри новой конструкции. Во всех языках имеются средства для формирования единого блока из группы конструкций (подпрограммы в Бейсике, составные конструкции и процедуры в Паскале). Примером группирования может являться также выполнение в конструкциях циклов следования или выбора и т. д.

1.5. Синтаксические диаграммы

Программирование на любом языке предполагает знание определенных форм записи, которые необходимо соблюдать при составлении программ. Порядок записи объектов программы и их структуры часто бывают трудными для понимания, поэтому прибегают к различным способам их отображения. Один из формальных методов, наглядно представляющий синтаксические конструкции языка в графическом виде, использует *синтаксические диаграммы*. Популяризировал эти диаграммы создатель языка Паскаль Н. Вирт, поэтому их часто называют синтаксическими диаграммами Вирта.

Синтаксическая диаграмма — это графическое представление отдельных объектов языка и строения самой программы. В син-

таксической диаграмме, как и в блок-схеме, используются плоские геометрические фигуры, соединенные стрелками. Однако, в отличие от блок-схемы, в которой отображается порядок выполнения действий определенной алгоритмической структуры, здесь указывается порядок синтаксического написания той или иной конструкции языка программирования.

На синтаксических диаграммах используются два вида четырехугольников — с прямыми и скругленными углами (иногда их заменяют кружками или овалами). В прямоугольники заключаются элементы языка, значения которых должны быть определены. В четырехугольниках со скругленными углами размещаются символы или иероглифы языка, значения которых в определении не нуждаются. Направление движения по диаграмме при раскрытии структуры понятия, записанного при входе в диаграмму, указывают стрелки (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Пример синтаксической диаграммы

На рис. 1.7 элементы "Type" и "=" являются служебными словами, а "Имя типа" и "Тип" требуют дальнейшей конкретизации и определения.

Чтобы получить правильные грамматические конструкции языка, используя синтаксические диаграммы, нужно идти по пути, указанному стрелками, от одного четырехугольника к другому до тех пор, пока не встретится выход. Там, где предусмотрено более одного направления движения, можно выбирать любое. Если по пути встречается ссылка на другую синтаксическую диаграмму, то следует войти в эту новую диаграмму, пройти по ней, выйти из нее и возвратиться на исходное место в первоначальной диаграмме.