

Высшее профессиональное образование

БАКАЛАВРИАТ

Н. Н. ГОРНЕЦ, А. Г. РОЩИН

ЭВМ И ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА

КОМПЬЮТЕРЫ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

*Учебник
для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«Информатика и вычислительная техника»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 681.3(075.8)
ББК 32.973я73
Г697

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Г. И. Хохлов*
(кафедра информационной безопасности Российского государственного
социального университета); д-р техн. наук, проф. кафедры информационных систем
Государственного университета управления *Н. В. Мельников*

Горнец Н. Н.

Г697 ЭВМ и периферийные устройства. Компьютеры и вычислительные системы : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. Н. Горнец, А. Г. Рошин. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 240 с. — (Сер. Бакалавриат).
ISBN 978-5-7695-8720-7

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 230100 «Информатика и вычислительная техника» (квалификация «бакалавр»).

Рассмотрены архитектура, организация и функционирование компьютеров, в том числе персональных и мультипроцессорных вычислительных систем. Подробно описаны работа процессора, его система команд, система управления, а также принципы действия основной и кэш-памяти. Изложены способы представления цифровых, буквенно-цифровых и графических данных. Рассмотрены элементы и типовые узлы компьютера. Приведены показатели быстродействия, производительности, надежности компьютеров и показаны пути их улучшения.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования. Может быть полезен магистрам, инженерам, аспирантам и преподавателям.

УДК 681.3(075.8)
ББК 32.973я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым
способом без согласия правообладателя запрещается*

© Горнец Н. Н., Рошин А. Г., 2012
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-8720-7

Компьютеры проникли во все области человеческой деятельности, где требуются обработка и передача разнообразной алфавитно-цифровой, графической и звуковой информации — в сферу производства, транспорт, быт и т. д. Они служат не только для выполнения научных и экономических расчетов и решения задач управления производственными процессами, но и позволяют получать новости, просматривать фильмы и т. д. Многие проводят за экраном персонального компьютера (ПК), или персональной вычислительной машины (ПЭВМ), много времени, просматривая новостные каналы, биржевые сводки, получая разнообразные технические сведения и многое другое из Интернета, а также используют компьютер для игр и развлечений. Небольшие по размерам, но обладающие достаточной «вычислительной мощностью» ПК стали доступными, а объединение нескольких ПК, т. е. создание компьютерных сетей, привело к возможности общения пользователей между собой и получения самой разнообразной информации. Теперь компьютерами пользуется все цивилизованное человечество; это стало возможным благодаря «дружественным» программам и интерфейсам, ставшими их непременной составной частью. Персональные компьютеры выпускаются в различных корпусах — это и настольные, и планшетные компьютеры, ноутбуки и совсем небольшие нетбуки. Микропроцессоры, лежащие в основе ПК, стали устанавливаться в телефонах, электронных книгах и различных «гаджетах». С помощью компьютера можно получать огромные объемы информации, выполнять работы не только вычислительного характера, но и редактировать тексты, рисовать, просматривать кинофильмы и т. д.

Получила развитие всемирная сеть Интернет, объединившая средства вычислительной техники и техники связи и дающая возможность узнавать и сообщать другим последние новости, давать советы и рекомендации. Теперь практически все компьютеры тем или иным способом взаимодействуют с глобальными и локальными сетями, т. е. ПК становятся компонентами все более крупных систем. Для подключения к такой сети не требуется сложных и дорогостоящих аппаратных средств — достаточно простых и недорогих адаптеров, модемов и каналов передачи данных — при этом скорость обработки информации определяется быстродействием самого компьютера и пропускной способностью каналов связи, работой программ и надежностью всех компонентов, участвующих в доставке информации пользователю. При написании этого учебника авторы также широко

пользовались ПК и материалами из сети Интернет. Это позволило не только подготовить рукопись значительно быстрее, но и сделать ее более полной и современной.

Широкое проникновение компьютеров в нашу жизнь, регулярное обновление их аппаратных и программных средств, постоянная модернизация и появление все новых компонентов требует глубокого знания принципов их работы. Покупая «готовый» компьютер, мы часто не пытаемся узнать, как он устроен, как работают современные процессоры, память и разнообразные периферийные устройства. Обычно нас интересуют лишь наличие тех или иных программных средств, их возможностей и состав аппаратуры. Но глубоко понять работу программных средств невозможно, если не обладать хотя бы минимальными знаниями аппаратуры.

Появление компьютера потребовало разработки специальных устройств, предназначенных для загрузки в него программ и данных и выгрузки полученных результатов. Такие устройства ввода-вывода принято называть периферийными (ПУ), и их назначение состоит в преобразовании способов представления информации, пригодных для человека и используемых в компьютере. Название «периферийные» эти устройства получили в 1960-х гг.; в то время процессор и память вычислительной машины размещались в шкафах-стойках, образуя своеобразный «центр», а остальные устройства размещались по периферии и подключались к нему с помощью кабелей. Но в современных компьютерах ПУ могут располагаться как внутри, так и вне корпуса компьютера. Без наличия ПУ воспользоваться компьютером невозможно, так как ни процессор, ни память не позволяют человеку или управляемым объектам внешнего мира получать уже обработанную информацию или вводить в него новую, подлежащую обработке. Поскольку число органов чувств и моторики человека ограничено (он может читать, видеть изображение на экране и слушать, а также печатать, перемещать предметы и говорить), принципы представления информации в ПУ остаются неизменными; также в значительной степени остается неизменным представление информации и в управляемых объектах. Таким образом, задачи ПУ остаются прежними, но развитие технологии приводит к изменению самих ПУ — они становятся компактнее, дешевле и экономичнее. Современные ПУ содержат микропроцессоры, в них предусматривается память, они обладают «встроенным интеллектом», позволяющим выполнять сложные функции управления и преобразования способов представления информации.

Скорость работы большинства ПУ сравнительно невелика. Это обусловлено двумя обстоятельствами: во-первых, эти устройства предназначены для связи пользователя с компьютером, а возможности человека-пользователя ограничены его органами чувств, и, во-вторых, электромеханическим принципом действия, характерным для ряда ПУ.

Для долговременного хранения огромных массивов информации предназначены «внешние» запоминающие устройства (ВЗУ): накопители на магнитных дисках (НМД), на оптических дисках (CD-ROM, CD-RW, DVD), флэш-память и т. д. В последнее время в переносных ноутбуках вместо жестких магнитных дисков применяют твердотельные диски SSD, представляющие особый вид флэш-памяти: в них нет подвижных деталей, и они характеризуются очень малым энергопотреблением. Отсутствие подвижных частей приводит к меньшей подверженности компьютера ударным и вибрационным нагрузкам и меньшей шумности при его работе.

В соответствии с профессиональным циклом основной образовательной программы дисциплина «ЭВМ и периферийные устройства» изучается в 7-м и 8-м семестрах учебного процесса. В учебнике «ЭВМ и периферийные устройства. Компьютеры и вычислительные системы» основное внимание уделено описанию персональных компьютеров, т. е. предназначенных для работы одного пользователя, а в качестве иллюстраций использовано семейство наиболее распространенных компьютеров Intel x86, которые составляют более 90 % всех установленных в России ПК. В тексте рассмотрены и некоторые способы повышения быстродействия, производительности и надежности компьютеров путем создания многопроцессорных систем. Такие системы уже никак нельзя назвать «персональными» — одновременно или на основе разделения времени ими пользуется множество пользователей. Многопроцессорные системы предназначены для решения сложнейших задач, например, задач управления воздушным движением, оборонных, прогноза погоды, предсказания извержений вулканов, возникновения цунами и т. д. Нельзя не учитывать важность подобных систем, но для их создания необходимы специальные аппаратные и программные средства. Даны основные определения и понятия о составных частях компьютера и его типовых узлах — триггерах, регистрах, сумматорах, комбинационных логических схемах, о периферийных устройствах, арифметическом устройстве, системе ввода-вывода, устройстве управления, памяти и т. д. Рассмотрено представление цифровой и алфавитно-цифровой информации в компьютере, способы кодирования, системы счисления и формы представления чисел. Приведена организация арифметико-логического устройства, процессора в целом, а также оперативной и кэш-памяти.

Учебное издание «ЭВМ и периферийные устройства. Устройства ввода-вывода» тех же авторов предназначено для продолжения изучения дисциплины «ЭВМ и периферийные устройства». В нем изложено описание состава и структуры системы ввода-вывода и разнообразных интерфейсов, рассмотрены устройства ввода и вывода текстовой, графической информации и речевой информации, устройства для дистанционного ввода-вывода и внешняя память. Описание периферийных устройств и средств сопряжения не настолько подробно,

чтобы пользоваться им при непосредственной разработке ПУ и программировании операций ввода-вывода, но оно достаточно для понимания преобразования способов представления информации и последовательности действий при вводе-выводе.

Основное внимание в учебнике уделено описанию аппаратуры, а не программных средств. Но нужно помнить, что без программ компьютер работать не может — он превращается в бесполезное «украшательство» на рабочем столе. Ошибки в программах столь же существенны, как и ошибки при разработке аппаратуры. Так, неправильная или неудачно составленная программа выполняется очень медленно, требует огромных вычислительных ресурсов и может приводить к ошибочным результатам.

Учебник предназначен для бакалавров, обучающихся по специальностям, связанным с компьютерами. Он может быть полезен при подготовке магистров, а также инженерам, аспирантам и преподавателям. При подготовке учебника к изданию был использован многолетний опыт преподавания дисциплин «Организация ЭВМ и систем», «Периферийные устройства ЭВМ», «Интерфейсы периферийных устройств» и «Вычислительные системы» в Московском институте радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА) и Московском государственном техническом университете гражданской авиации (МГТУГА). При работе над рукописью помимо литературных источников, приведенных в списке литературы, авторы пользовались материалами из периодических отечественных и зарубежных изданий, таких как PC Magazine, Мир ПК, Upgrade — новый уровень ваших компьютеров, Hard 'n' Soft, КомпьютерПресс, LAN — журнал сетевых решений, Сети и системы связи, iXBT, Computer, Data Communications, Electronic Design, Electronic Electronics, IEEE Transactions on Computers, Proceedings of the IEEE и ряда других. Кроме того, были использованы материалы различных симпозиумов и конференций, а также материалы из сети Интернет.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРЕ

1.1. ЭВОЛЮЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Электронная цифровая вычислительная машина (ЭЦВМ), или компьютер, работает с информацией, представленной в алфавитно-цифровом виде. Этим компьютер отличается от распространенных ранее аналоговых и гибридных машин, в которых исходная информация выглядела в виде аналоговых сигналов.

В далеком прошлом человек выполнял расчеты, полагаясь на пальцы рук, что привело к появлению общепринятой десятичной системы счисления. Вычислительные задачи постоянно усложнялись, и для упрощения расчетов начали выпускать вначале счеты, а позднее — механические калькуляторы, также использующие десятичную систему счисления.

Уже в первой половине XIX в. Ч. Бэббиджем была предпринята попытка создания механической дифференцирующей машины, но лишь в 1940-х гг. были построены действующие модели машин, использующих электронные лампы и электромеханические реле. Эти машины предназначались для расшифровки германских шифровальных кодов во время Второй мировой войны и для решения систем линейных уравнений; это разработанный Б. Парком вычислитель Colossus и разработанный Дж. Атанасовым и К. Бери «калькулятор» ABC, а также созданный К. Зусом калькулятор Z3. Кроме того, для расчета функций, заданных бесконечными рядами, предназначался вычислитель Mark 1, построенный в Гарвардском университете под руководством Г. Айкена, а для расчета баллистических таблиц — разработанная под руководством Д. Мочли и П. Эккерта машина ENIAC.

Первая советская «малая электронная счетная машина» МЭСМ создана в 1951 г. под руководством С. А. Лебедева. В 1953 г. была построена большая электронная счетная машина БЭСМ, быстродействие которой достигало 8 000 операций в секунду. Большинство из перечисленных машин были ламповыми (теперь их принято относить к *ЭВМ первого поколения*).

Все эти машины имели арифметико-логическое и запоминающее устройства, устройства ввода и вывода. Машины, в которых для хра-

нения команд и данных использовались отдельные устройства, получили название машин Гарвардской архитектуры. Но более широкое распространение получила Принстонская архитектура, предложенная в 1946 г. американским математиком фон Нейманом: команды и данные в таком компьютере не имеют каких-либо отличительных признаков и хранятся в единой памяти, а разница между ними определяется только механизмами доступа. На расположение команды в памяти указывает программный счетчик, а положение данных определяется содержимым регистра команд. Если расположение команд и данных по какой-нибудь причине оказывалось нарушенным, то поведение программы предсказать было невозможно.

Помимо огромных размеров, большого потребления электроэнергии и сильного нагрева лампы машины показали себя как ненадежные: лампы часто перегорали, а на восстановление работоспособности машин уходили часы. Появление транзисторов в конце 1950-х гг. позволило значительно усложнить структуру машин, не снижая, а часто и повышая их надежность. В качестве элементов оперативной памяти начали использовать ферритовые сердечники, появились специальные индексные регистры, упрощающие доступ к массивам данных. Для управления вводом-выводом предназначались блоки, работающие автономно; это позволило выполнять ввод-вывод одновременно с обработкой, но потребовало средств синхронизации ввода-вывода и арифметических операций, т. е. возникла необходимость в системе прерываний. Создавались первые языки программирования. Полупроводниковые машины относят к *ЭВМ второго поколения*. Наиболее известны из советских ЭВМ второго поколения машины Минск-32, БЭСМ-6, М-220 и др. Машины первого и второго поколений строились на базе импульсно-потенциальных элементов.

Появление интегральных схем (ИС) в 1960-х гг. привело к изменению элементной базы, позволило усложнить и повысить производительность и надежность ЭВМ. Широкое распространение получила конвейерное выполнение команд, начала применяться параллельная обработка, в устройствах управления стали использовать микропрограммирование. Появился стандартный интерфейс ввода-вывода, позволяющий подключать к машине разнообразные периферийные устройства (ПУ). Все это — *машины третьего поколения*. Термин «поколение ЭВМ» появился в качестве рекламы машин серии ИВМ/360 (370); тройка означала, что машина относится к третьему поколению, т. е. построена на ИС малой и средней степени интеграции, а две цифры 60 или 70 — десятилетие появления данной серии. Использование ИС в качестве элементной базы потребовало перехода на потенциальную систему элементов.

Машины на базе больших (БИС) и сверхбольших (СБИС) интегральных схем относят к *ЭВМ четвертого поколения*. Оперативную память стали выполнять на полупроводниковых элементах.

В 1983 г. была опубликована японская программа по созданию *ЭВМ пятого поколения*. Предполагалось, что такие ЭВМ будут состоять из сотен и тысяч процессоров, осуществляющих параллельную обработку информации. Однако в дальнейшем распространение микропроцессоров и персональных компьютеров привело к снижению интереса к «поколениям ЭВМ».

Долгое время компьютер называли электронной цифровой вычислительной машиной или просто электронной вычислительной машиной. Но расчетные задачи, для решения которых и создавались ЭВМ, давно перестали быть единственной сферой их применения. Термин «электронная вычислительная машина» уже не означает, что с ее помощью мы выполняем лишь задачи вычислительного характера. Более того, мы уже давно имеем дело не просто с ЭВМ, а с системами, способными хранить, редактировать, выполнять сортировку и поиск данных, формировать таблицы, диаграммы и отчеты, осуществлять логические преобразования, передавать и принимать сообщения, печатать результаты и т. п. По этой причине в настоящее время вычислительную машину называют английским термином «компьютер», а предназначенную для индивидуального пользования — персональным компьютером (ПК).

1.2. Основные термины и понятия

Изучение компьютеров и ПУ начнем с общепринятой терминологии. *Компьютер* представляет собой устройство, предназначенное для выполнения программ, т. е. для обработки информации. Он позволяет решать научно-технические задачи вычислительного характера, выполнять запросы информационно-справочного характера, управлять физическими объектами и технологическими процессами в реальном масштабе времени (РМВ), искать информацию в глобальной сети, просматривать фильмы и т. д. В состав компьютера входит центральная часть — один или несколько центральных процессоров (ЦП), где и происходит обработка информации, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), или основная память (ОП), состоящая из ОЗУ и постоянной памяти (ПЗУ), и ряд схем, предназначенных для увеличения возможностей процессора. Для работы компьютера необходима и периферийная часть, т. е. разнообразные устройства ввода-вывода и внешняя память, а также контроллеры, или устройства управления для связи центральной части компьютера с ПУ и устройствами внешнего мира.

Для увеличения скорости обработки в некоторых случаях можно воспользоваться совокупностью нескольких взаимосвязанных процессоров или компьютеров, образующих *вычислительную систему*. Но появление многоядерных процессоров приводит к стиранию грани между понятиями компьютера и вычислительной системы.

Процессор предназначен для выполнения задач пользователя и управления вычислительным процессом; в его состав входит арифметико-логическое устройство (АЛУ) и устройство управления. Вся необходимая для его работы информация — команды и данные — хранится в ОП; команды и данные представлены последовательностью нулей и единиц на внутреннем языке компьютера. Для выполнения каких-либо действий эту информацию необходимо переместить в регистры процессора.

В состав процессора входит несколько *регистров* — узлов, предназначенных для приема информации из памяти, хранения ее в процессе обработки и выдачи после завершения обработки. Часть регистров носит название регистров общего назначения (РОН); в эти регистры заносятся подлежащие обработке операнды (данные) и результаты выполнения операции, а другая часть регистров служит для хранения строго фиксированной информации. Решение задачи осуществляется выполнением программы, представляющей последовательность команд, или инструкций, также размещаемых в регистрах.

Регистр состоит из нескольких соединенных определенным образом триггеров. *Триггер* — это электронная схема, которая может находиться в одном из двух устойчивых состояний «0» и «1». Переводится триггер из одного состояния в другое внешними сигналами, т. е. в него производится запись «0» или «1». *Счетчик* — это особый вид регистра, позволяющий определить число поступающих в него сигналов. Он также строится на основе триггеров, хотя и другого типа. Регистры, триггеры и счетчики представляют собой схемы с памятью. А для реализации каких-либо логических функций служат *комбинационные*, или *логические схемы*. Они формируют выходной сигнал при определенных комбинациях сигналов на входах; такие комбинационные схемы не обладают памятью.

Помимо процессора в состав компьютера входят различные виды памяти, в которых хранятся программы, а также подлежащие обработке данные и полученные результаты.

Теперь дадим определения квантам информации, представленным в цифровом и доступном для обработки в компьютере виде. *Данными* называют сведения (текст, звуковые сообщения, изображения), представленные в формализованном виде, т. е. в виде квантов информации. Под *квантом информации* следует понимать некоторый ее объем, наиболее удобный для описания объекта при передаче, хранении и обработке. Кванты информации, как правило, различны для компьютера и внешнего мира. В вычислительной технике часто используют и более узкое толкование термина «данные»: его используют для обозначения обрабатываемой (исходные и конечные данные), в отличие от управляющей информации (команды, адреса).

Все обмены данными между компьютером и объектами внешнего мира, а также между отдельными устройствами компьютера выпол-

няются с помощью сообщений. *Сообщение* — это произвольное количество информации, предназначенное для передачи между отдельными устройствами; оно имеет явно или неявно указанные начало и конец. Для компьютерной техники характерны *дискретные сообщения*; в них информация представлена конечным числом символов из некоторого набора, называемого алфавитом. *Алфавит* может содержать буквы, цифры, знаки препинания, различные символы псевдографики, управляющие символы, специальные символы и т. д. Общее число символов, входящих в алфавит, называют его *мощностью*. Все символы в компьютере должны быть представлены в закодированном виде, т. е. каждому символу ставится в соответствие кодовая комбинация; она состоит из нескольких *бит* («0» или «1»). Название «бит» получил от сокращения (первые и последняя буквы bit) английских слов binary digit, в переводе означающих «двоичная цифра». Если мощность алфавита лежит в пределах от 128 до 256, то для кодирования каждого символа необходимо восемь бит, образующих неделимую при обработке единицу, называемую *байтом* (byte). Для кодирования только шестнадцатеричных цифр достаточно четырех бит, поэтому каждый символ, кодируемый байтом, в том числе и цифра, может быть представлен в виде двух шестнадцатеричных цифр.

Команды и данные хранятся в памяти компьютера в виде *машинных слов* — совокупности бит, передаваемых из памяти и воспринимаемых аппаратными средствами компьютера как единая команда или как значение, обрабатываемое под управлением одной команды. Теперь длина машинного слова в разных компьютерах составляет 16, 32 или 64 бит (2, 4 или 8 байт соответственно), что позволяет экономно упаковывать буквенно-цифровые символы, однако в первых моделях ЭВМ она определялась исключительно необходимой точностью вычислений и составляла 44, 36 или 20 бит. Переменный формат команд, характерный для многих современных компьютеров, приводит к тому, что термин «машинное слово» встречается все реже. Биты, байты и машинные слова — это информационные кванты, характерные для компьютера. При решении задачи пользователь для описания каких-либо объектов по соображениям удобства выбирает другие информационные кванты — символы, поля, записи, файлы.

Пусть перед пользователем стоит задача рассчитать размеры стипендии и напечатать стипендиальную ведомость. Для этого необходимо знать имя и фамилию каждого студента, форму обучения (очная или заочная, дневная или вечерняя, платная или бесплатная), результаты завершенной сессии и т. п. Эти параметры носят название *атрибутов*. В качестве атрибутов при управлении производственными процессами могут выступать значения сигналов от датчиков. Каждый атрибут характеризуется *именем* и *значением*. Имя атрибута определяет вид обработки, которой подвергается его значение. Обычно в поле атрибута размещается несколько символов. Отдельные

поля объединяют в *запись*, которая описывает весь объект при выполнении задачи. Одно из полей каждой записи носит название ключа и служит для различения записей и нахождения нужной. Ключом может служить фамилия студента или название контролируемого параметра. Записи объединяют в *файлы*, имеющие определенную структуру. Файл содержит название, некоторые характеристики, команды или данные, а также символы контроля. Файлы могут быть разных размеров и форматов. Различают командные файлы (в них содержатся программы) и информационные — текстовые, графические и т. д. В качестве информационных квантов пользователи и другие объекты внешнего мира используют файлы, записи, поля и символы, а компьютер — машинные слова, байты и биты. Кроме различия форматов информация во внешнем мире может быть представлена в виде текста, речи и графики, поэтому для обработки в компьютере ее необходимо закодировать, представив в виде переносимых машинных информационных квантов.

1.3. Системы счисления и формы представления чисел

Любая информация в компьютере представлена в числовой форме, при этом используется двоичная система счисления. Под *системой счисления* понимают способ представления чисел с помощью цифр, имеющих определенное количественное значение. В зависимости от способа изображения чисел системы счисления делят на непозиционные и позиционные. Примером непозиционной системы может служить Римская: значение цифры не зависит от ее положения в числе (за исключением того, что стоящая перед старшей цифрой младшая берется со знаком «минус»). Так, десятичное число 23 в римской системе записывается в виде XXIII, где X означает «десять», а I — «один».

В позиционной системе каждая цифра числа занимает определенное место, называемое *позицией* или *разрядом*. Разряды нумеруют слева направо, начиная с нулевого разряда. Числовое значение любой цифры в позиционной системе зависит не только от вида самой цифры, но и от ее позиции в изображении числа. Одна и та же цифра имеет разные «веса» в зависимости от занимаемой позиции в числе. Цифры младшего разряда целых чисел в любой системе счисления имеют вес, равный $N^0 = 1$. Следующий по старшинству разряд имеет вес N^1 . Так, для десятичного числа $A = 235$ цифра «5» входит в число с весом $10^0 = 1$, цифра «3» — с весом $10^1 = 10$, цифра «2» — с весом $10^2 = 100$, что и определяет значение числа

$$235 = 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10 + 5 \cdot 10^0 = 200 + 30 + 5.$$

Шестнадцатеричное число $A_{16} = AF7,E$ соответствует

$$A_{16} = A \cdot 16^2 + F \cdot 16^1 + 7 \cdot 16^0 + 14 \cdot 16^{-1} = 10 \cdot 256 + 15 \cdot 16 + 7 + 0,875 = (2\ 807,875)_{10},$$

а двоичное число

$$A_2 = 1110,11 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} = 8 + 4 + 2 + 0 + 0,5 + 0,25 = (14,75)_{10}.$$

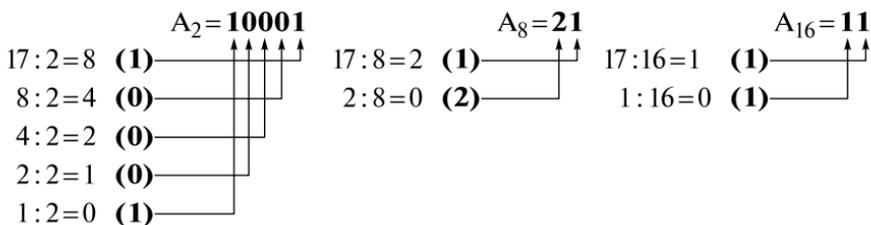
Основание системы счисления определяет количество цифр для представления чисел. Человек привык производить расчеты в *десятичной* системе. *Шестнадцатеричная* система используется при программировании; она позволяет весьма просто переходить к двоичной системе и обратно. *Двоичная* система счисления служит для представления кодов чисел, буквенных символов и команд в компьютерах. Двоичные коды используются для хранения информации в памяти, для выполнения арифметических и логических операций, для пересылки информации между устройствами, передачи ее по каналам связи и т.д. Это объясняется необходимостью иметь всего две цифры (0 и 1) для представления чисел, простотой арифметических операций и возможностью преобразований посредством двоичных логических элементов.

Правила перевода чисел из одной системы счисления в другую.

В компьютере перевод чисел из одной системы счисления в другую осуществляется по специальным программам.

Перевод целых чисел. Перевод числа A_N из системы счисления с основанием N в число A_{N1} в систему счисления с основанием $N1$ осуществляется последовательным делением числа A_N на $N1$, записанного в виде числа с основанием N , до получения остатка. При этом фиксируется целая часть частного и остаток. Если частное не равно нулю, то оно принимается за новое число и вновь делится на $N1$. Если частное равно нулю, то выписываются все остатки в обратном порядке для получения числа с основанием $N1$. Все вычисления проводятся в старой системе счисления.

Пример 1.1. Перевести число $A_{10} = 17$ в двоичную, восьмеричную и шестнадцатеричную системы.



Перевод дробных чисел. Перевод дробных чисел из системы счисления с основанием N в число с основанием $N1$ осуществ-

вляется последовательным умножением A_N на основание N по правилам умножения чисел в системе счисления с основанием N с запоминанием целой части в качестве новой цифры получаемого числа. Полученную дробную часть принимают за исходное число, повторяя процедуру умножения и т.д. Все вычисления проводятся в старой системе счисления. Особенность перевода дробных чисел заключается в том, что, как правило, результат получается с погрешностью, величина которой зависит от количества разрядов результата.

Пример 1.2. Перевести число $A_{10} = 0,675$ в двоичную, восьмеричную и шестнадцатеричную системы.

$A_2 = \mathbf{0,101...}$	$A_8 = \mathbf{0,531...}$	$A_{16} = \mathbf{0,ACC...}$
$0,675 \times 2 = \mathbf{1,350}$	$0,675 \times 8 = \mathbf{5,400}$	$0,675 \times 16 = \mathbf{10,800}$
$0,350 \times 2 = \mathbf{0,700}$	$0,400 \times 8 = \mathbf{3,200}$	$0,400 \times 16 = \mathbf{12,800}$
$0,700 \times 2 = \mathbf{1,400}$	$0,200 \times 8 = \mathbf{1,600}$	$0,200 \times 16 = \mathbf{12,800}$
.....

Полученные дробные числа имеют погрешность, равную весу младшего разряда. Например число A_2 определено с погрешностью $2^{-3} = 1/8$, а число A_{16} — с погрешностью $16^{-3} = 1/4096$. При переводе смешанных чисел отдельно переводится целая и дробная части.

Перевод чисел из двоичной в шестнадцатеричную систему счисления. Так как $N = 16$ представляет собой степени числа 2 ($2^k, k = 4$), то перевод из двоичной системы счисления в шестнадцатеричную осуществляется путем разбиения двоичного числа на группы из 4 цифр и замены их шестнадцатеричными цифрами.

Пример 1.3. Перевести число $A_2 = 1100111001,1000111$ в шестнадцатеричную систему.

$$A_2 = \underbrace{0011}_3 \underbrace{0011}_3 \underbrace{1001}_9, \underbrace{1000}_8 \underbrace{1110}_E \Rightarrow A_{16} = \mathbf{339,8E}$$

Для перевода из системы счисления с основанием $N = 2^k$ в двоичную достаточно заменить каждую цифру исходного шестнадцатеричного числа на двоичную тетраду, как это показано на рис. 1.1.

Двоично-десятичные коды. Существуют также позиционные системы счисления, использующие одновременно несколько оснований. Примером такой системы является двоично-десятичная система счисления. Она используется как вспомогательная система при вводе и выводе данных, а также в компьютерах с десятичной ариф-

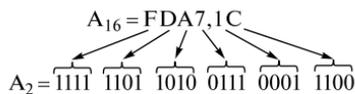
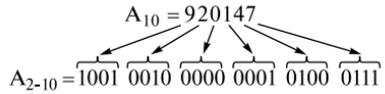


Рис. 1.1. Перевод числа из шестнадцатеричной в двоичную систему счисления

Рис. 1.2. Перевод числа из десятичной в двоично-десятичную систему счисления



метикой. Для записи числа в двоично-десятичной системе счисления каждая десятичная цифра заменяется соответствующим четырехразрядным двоичным числом (тетрадой), как это показано на рис. 1.2.

В двоично-десятичной системе счисления для представления цифр используется двоичная система. В то же время веса цифр (двоичных тетрад) остаются теми же, что и в десятичной системе. Так, в рассмотренном выше примере старшая тетрада 1001 имеет значение «девятьсот тысяч», младшая — значение «семь». Для представления десятичных цифр может использоваться как обычная двоичная система с весами разрядов 8421, так и двоичные системы счисления с другими весами, например 2421. Использование таких весов позволяет упростить выполнение арифметических операций непосредственно над двоично-десятичными кодами без перевода их в двоичную систему счисления. Это может быть целесообразно при несложной обработке больших массивов десятичных чисел. В двоичной тетраде может быть записано $2^4 = 16$ различных комбинаций, из которых только 10 комбинаций используются для кодирования десятичных цифр, остальные 6 комбинаций являются запрещенными. Таким образом, существует возможность различного кодирования десятичных цифр.

Формы представления чисел. Для представления чисел нужно закодировать отдельные цифры. В общем случае числа имеют знак (плюс или минус). Кроме того, число может включать целую и дробную части, поэтому нужно каким-либо образом указать, где находится точка (запятая), разделяющая целую и дробную части числа.

Для кодирования знака числа отводится специальный разряд, называемый знаковым. Под знаковый разряд обычно отводится старший разряд числа: в случае отрицательных чисел в нем записывается цифра 1, а положительных — 0. Для указания положения точки используют одну из двух форм: форму с фиксированной точкой или форму с плавающей точкой.

Форма чисел с фиксированной точкой. Форма представления чисел с фиксированной точкой, называемая также естественной формой, предполагает, что все числа в компьютере только целые или только дробные. В этом случае положение точки является стандартным и не требует специального указания. Эта форма проста, но приводит к некоторому усложнению программирования. Если в компьютере для всех чисел положение точки зафиксировано справа от младшего цифрового разряда, то числа принимают только целые значения. Целое число с фиксированной точкой имеет вид, представленный, на рис. 1.3.

На рис. 1.3 представлено n -разрядное целое число. Один разряд занимает знак, остальные n разрядов — цифровые. Веса цифровых

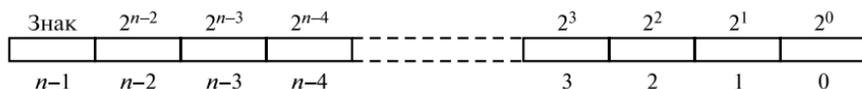


Рис. 1.3. Целое число в форме с фиксированной точкой

разрядов показаны в верхней части рисунка. В этом случае в компьютере могут быть представлены числа, модуль которых находится в диапазоне $1 \leq |X| < 2^{n-1}$.

При этом точность представления чисел равна единице, так как числа могут быть только целыми.

Если точка зафиксирована слева от старшего цифрового разряда, то все числа могут быть только дробными. Дробное число в форме с фиксированной точкой представлено на рис. 1.4. Дробные числа с фиксированной точкой, имеющие n цифровых разрядов, представляются с точностью 2^{-n} (величина единицы младшего разряда дроби) в диапазоне $2^{-n} \leq |X| \leq 1 - 2^{-n}$. Напомним, что фиксированная точка не имеет никакого обозначения в компьютере, ее положение определяется однозначно принятой для данного компьютера формой чисел (целые или дробные). В формате с фиксированной точкой могут представляться числа без знака. В этом случае все разряды являются цифровыми.

В современных микропроцессорах используется представление данных в форме целых чисел с фиксированной точкой. Форма дробных чисел с фиксированной точкой применяется для представления мантиссы числа в форме с плавающей точкой.

Форма чисел с плавающей точкой. Форма представления чисел с плавающей точкой (нормальная или полулогарифмическая) позволяет представлять в компьютере любые (целые, дробные или смешанные) числа. Число с плавающей точкой записывается в виде двух частей: мантиссы и порядка. Мантисса включает значащие разряды числа, а порядок указывает положение точки. При этом мантисса записывается как дробное число с фиксированной точкой, а порядок — как целое число с фиксированной точкой. Знак мантиссы является знаком всего числа, а знак порядка определяет, содержит ли число целую часть. Значение числа с плавающей точкой определяется следующим образом:

$$A = m_A \cdot q^{p_A},$$

где m_A — мантисса числа A ; q — основание системы счисления; p_A — порядок.

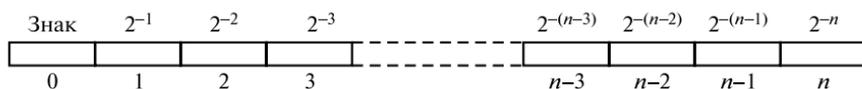


Рис. 1.4. Дробное число в форме с фиксированной точкой