

МЕДИЦИНСКАЯ ИНФОРМАТИКА

УЧЕБНИК

Под общей редакцией
Т.В. Зарубиной,
Б.А. Кобринского

2-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Центральным координационным методическим советом ФGAOY BO «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России в качестве учебника для образовательных учреждений, реализующих образовательные программы высшего образования по медицинской информатике

Протокол заседания ЦКМС № 5 от 30 июня 2021 года



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	11
Предисловие	14
Введение	16
РАЗДЕЛ 1. Базовые технологии представления и обработки данных	18
Глава 1. Теоретические основы информатики	18
1.1. Информация и данные	18
1.2. Основы формальной логики	24
1.3. Основы алгоритмизации	27
1.4. Арифметические основы электронно-вычислительной машины	29
Глава 2. Прикладные программные средства	35
2.1. Текстовые редакторы	35
2.2. Электронные таблицы	55
2.3. Система компьютерных презентаций	75
2.3.1. Основные инструменты создания презентации	75
2.3.2. Основные приемы в оформлении слайдов	81
2.3.3. Разработка слайд-фильма	86
Контрольные вопросы и задания к разделу 1	89
РАЗДЕЛ 2. Подходы к анализу информации в медицине и здравоохранении	91
Глава 3. Математическое моделирование в биологии и медицине	91
3.1. Основные понятия математического моделирования в медицине	91
3.2. Примеры математических моделей в медицине	99
3.2.1. Камерные модели фармакокинетики	99
3.2.2. Моделирование динамики популяций	106
3.2.3. Модель динамики иммунной реакции	114
3.3. Математическое моделирование сердечно-сосудистой системы	120
3.3.1. История создания моделей сердечно-сосудистой системы	120
3.3.2. Классификация моделей сердца и сердечно- сосудистой системы	121

Глава 4. Анализ медицинских данных с помощью методов математической статистики.	124
4.1. Статистика в профессиональной деятельности врача	124
4.2. Виды данных медико-биологических исследований	125
4.3. Основные понятия математической статистики	126
4.4. Программный пакет статистической обработки данных	129
4.5. Элементы описательной статистики	132
4.6. Сравнение групп по количественному признаку	136
4.7. Сравнение групп по качественному признаку.	138
4.8. Исследование наличия и степени взаимосвязи между признаками	144
Глава 5. Поиск закономерностей в базах данных.	149
5.1. Принципы и методы интеллектуального анализа.	149
5.2. Технология DATA MINING	153
Глава 6. Медицина, основанная на доказательствах	158
6.1. Эпидемиологические показатели в исследовании неинфекционных заболеваний	158
6.2. Виды клинических исследований	160
Контрольные вопросы и задания к разделу 2	165
РАЗДЕЛ 3. Телекоммуникационные технологии и интернет-ресурсы в медицине.	167
Глава 7. Технологии передачи данных в информационных системах.	167
7.1. Понятие о сетях передачи данных	167
7.2. Основные виды сетей передачи данных	168
7.2.1. Кабельные сети передачи данных	168
7.2.2. Беспроводные сети передачи данных	171
Глава 8. Безопасность информационных систем.	175
8.1. Управление доступом к информационным ресурсам.	176
8.2. Криптографический метод защиты информации.	177
8.3. Обеспечение целостности и предотвращение уничтожения данных.	178
8.3.1. Резервное копирование.	178
8.3.2. Архивирование	179
8.4. Средства защиты от вирусов	179
8.4.1. Требования к антивирусному программному обеспечению	179
8.4.2. Политика антивирусной безопасности	179

Глава 9. Интернет-ресурсы в медицине.	181
9.1. Современные поисковые системы: введение.	181
9.2. Поисковые системы	182
9.3. Поисковые каталоги	183
9.4. Метапоисковые системы	183
9.5. Правила составления запросов.	185
9.6. Медицинские ресурсы Интернета	186
9.7. Дистанционное обучение	189
Глава 10. Телемедицина	192
10.1. Основные понятия	192
10.2. Этапы становления мировой и российской телемедицины.	193
10.3. Телеконсультирование, теленаблюдение и телепомощь	195
10.4. Телемедицина в чрезвычайных ситуациях	204
10.5. Мобильные телемедицинские комплексы	206
10.6. Деонтология в телемедицине	206
Глава 11. Мобильное здравоохранение	208
Контрольные вопросы и задания к разделу 3	212
РАЗДЕЛ 4. Введение в медицинскую информатику	213
Глава 12. Основные понятия медицинской информатики	213
12.1. Основные вехи в становлении кибернетики и информатики.	213
12.2. Основные понятия медицинской кибернетики и информатики.	217
12.3. Элементы деятельности врача как объекты информатизации	225
Глава 13. Медицинские информационные системы.	229
13.1. Подходы к классификации информационных медицинских систем в историческом аспекте	229
13.2. Современная классификация медицинских информационных систем	232
Контрольные вопросы и задания к разделу 4	236
РАЗДЕЛ 5. Информатизация лечебно-диагностического процесса	237
Глава 14. Медико-технологические системы обработки сигналов и изображений.	237
14.1. Медико-технологические системы и их назначение	237

14.2. Возможности и принципы работы автоматизированных систем для обработки медицинских сигналов и изображений . . .	238
14.2.1. Принцип аналого-цифрового преобразования медицинских сигналов	240
14.2.2. Принцип аналого-цифрового преобразования изображений	241
14.2.3. Принципы обработки медицинских сигналов и интерпретации полученной информации.	243
14.2.4. Принципы обработки и анализа медицинских изображений	247
14.2.5. Автоматизированные системы для мониторинга жизненно важных показателей	251
Глава 15. Медико-технологические системы консультативной помощи в принятии решений	254
15.1. Вычислительные алгоритмы анализа медицинской информации	255
15.2. Знания и системы, основанные на знаниях	259
15.2.1. Системы, основанные на знаниях.	259
15.2.2. Знания и особенности их приобретения	260
15.2.3. Модели представления знаний	261
15.2.4. Системы продукций.	262
15.2.5. Семантические сети.	263
15.2.6. Фреймовая модель	264
15.2.7. Онтологические модели и визуальные представления для поиска решений	265
15.3. Структура, функции и особенности построения интеллектуальных консультативных систем	266
15.3.1. Формализованное представление медицинских знаний	267
15.3.2. Формирование базы знаний и архитектура интеллектуальных систем	269
15.3.3. Примеры клинических интеллектуальных систем	274
15.4. Машинное обучение.	278
15.5. Искусственные нейронные сети	280
Глава 16. Автоматизированное рабочее место врача	283
16.1. Задачи и функции автоматизированного рабочего места медицинского работника	284
16.2. Элементы в составе типового автоматизированного рабочего места врача	287

Глава 17. Электронная медицинская карта	291
17.1. Основное назначение медицинских записей.	
Понятие медицинского документа	292
17.2. Национальный стандарт электронной истории болезни	295
17.3. Идентификация автора электронной персональной медицинской записи	297
17.4. Электронная медицинская карта — основа электронного документооборота в здравоохранении	298
17.5. Роль системы ведения электронной медицинской карты в организации и управлении лечебно-диагностическим процессом	300
17.6. Интегрированная электронная медицинская карта	302
Глава 18. Информационно-технологические системы отделений медицинских организаций	304
18.1. Лабораторные информационные системы	304
18.1.1. Назначение лабораторных информационных систем и основные требования к ним	304
18.1.2. Порядок работы лабораторной информационной системы	307
18.1.3. Обеспечение качества лабораторной диагностики	309
18.1.4. Эффекты от внедрения лабораторной информационной системы	310
18.1.5. Интеграция лабораторной информационной системы с медицинскими информационными системами медицинских организаций	311
18.1.6. Общие принципы построения лабораторной информационной системы	312
18.1.7. Расширение возможностей лабораторной информационной системы	313
18.1.8. Решения и перспективы внедрения лабораторной информационной системы	314
18.2. Системы архивирования, хранения и управления изображениями	315
18.2.1. Системы PACS, их назначение и общие принципы построения	315
18.2.2. Системы отделений лучевой диагностики	319
18.2.3. Перспективы использования PACS/RIS	321
18.3. Медицинские информационные системы в отделениях реанимации и интенсивной терапии	323
18.3.1. Системы мониторинга физиологических параметров реанимационных больных	323

18.3.2. Автоматизированные рабочие места для врачей-реаниматологов	328
18.3.3. Информационные системы отделения реанимации и интенсивной терапии	332
Контрольные вопросы и задания к разделу 5	334
РАЗДЕЛ 6. Информатизация управления здравоохранением	337
Глава 19. Автоматизация деятельности медицинских организаций	337
19.1. Уровни информатизации медицинских организаций	337
19.2. Функциональные требования к медицинской информационной системе медицинских организаций	342
19.3. Технологии построения медицинской информационной системы медицинских организаций	343
19.4. Типы и технологические решения медицинской информационной системы медицинских организаций	346
19.5. Защита информации в медицинской информационной системе медицинских организаций	347
19.6. Общие принципы организации медицинской информационной системы медицинских организаций	349
19.7. Информационная поддержка задач управления медицинских организаций	355
19.8. Опыт зарубежных стран	358
19.9. Перспективы развития	360
Глава 20. Государственные информационные системы в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации	362
20.1. Государственные информационные системы муниципального и территориального уровней	365
20.2. Требования к государственным информационным системам субъектов Российской Федерации	370
20.3. Информационные системы в сфере обязательного медицинского страхования	381
20.4. «Облачные» центры хранения данных и вычислений в здравоохранении	384
20.5. Требования к защите информации, содержащейся в государственных информационных системах	384
Глава 21. Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения	387
21.1. Понятие и структура единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения	387

21.2. Регистры	395
21.2.1. Федеральный реестр медицинских организаций	395
21.2.2. Федеральный регистр медицинских работников	398
21.2.3. Медицинские и медико-социальные регистры.	400
21.2.4. Подсистема мониторинга организации оказания высокотехнологичной медицинской помощи.	410
21.3. Нормативно-справочное обеспечение медицинских информационных систем	412
21.4. Организационное и правовое обеспечение медицинской информационной системы	415
21.4.1. Организационное обеспечение	415
21.4.2. Правовое обеспечение.	418
Глава 22. Значение стандартов в обеспечении взаимодействия медицинских информационных систем	420
22.1. Об использовании стандартов в здравоохранении	421
22.2. Организации для разработки стандартов по информатизации здравоохранения	423
22.3. Стандарты HEALTH LEVEL SEVEN.	425
22.3.1. HL7 версии 2.x	426
22.3.2. HL7 версии 3	427
22.3.3. FHIR	428
22.3.4. Международные номенклатуры и стандарты	430
Контрольные вопросы и задания к разделу 6	433
РАЗДЕЛ 7. Перспективы информатизации здравоохранения России	435
Глава 23. Электронное здравоохранение.	435
23.1. Концепция электронного здравоохранения.	435
23.2. Цифровизация медицинских организаций	437
23.3. Актуальное состояние дел и перспективы информатизации здравоохранения России.	439
Контрольные вопросы к разделу 7	445
Заключение.	446
Терминологический словарь	448
Литература	456
Предметный указатель	458

РАЗДЕЛ 1

БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Глава 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

1.1. ИНФОРМАЦИЯ И ДАННЫЕ

Термин «информация» происходит от латинского слова *informatio*, что означает — сведения, разъяснения, изложение. Информация — это широкое и глубокое понятие. В это слово вкладывается различный смысл в медицине, технике, науке. В обиходе информацией называют любые данные или сведения. Например, сообщение о каких-либо событиях, о чьей-либо деятельности и т.п., о состоянии здоровья. «Информировать» в этом смысле означает — сообщить нечто, неизвестное раньше, или уточнить, дополнить.

Информация — *сведения об объектах и явлениях окружающей среды, их параметрах, свойствах и состоянии, которые воспринимаются информационными системами (живые организмы, управляющие машины и др.) в процессе жизнедеятельности и работы.*

Одно и то же информационное сообщение (статья в газете, объявление, радиопередача, рассказ, чертеж, письмо, телеграмма, справка, выписка из истории болезни и т.п.) может содержать разное количество информации для разных людей — в зависимости от их предшествующих знаний, от уровня понимания этого сообщения, его значения и интереса к нему. Так, сообщение, составленное на японском языке, не несет никакой новой информации человеку, не знающему этого язы-

ка, но может быть высокоинформативным для человека, владеющего японским. Никакой новой информации не содержит и сообщение, изложенное на знакомом языке, если его содержание непонятно или уже известно.

Информация есть характеристика не сообщения, а соотношения между сообщением и его потребителем.

В случаях, когда говорят об автоматизированной работе с информацией посредством каких-либо технических устройств, обычно в первую очередь интересуются не содержанием сообщения, а тем, сколько символов это сообщение содержит.

Применительно к компьютерной обработке данных под информацией понимают некоторую последовательность символических обозначений (букв, цифр, закодированных графических образов и звуков и т.п.), несущую смысловую нагрузку и представленную в понятном компьютеру виде. Каждый новый символ в такой последовательности символов увеличивает информационный объем сообщения.

Информация может существовать в самых разнообразных формах — в виде текстов, рисунков, фотографий, световых или звуковых сигналов, электрических и нервных импульсов, магнитных записей и т.д.

Передача информации осуществляется в виде сообщений от некоторого источника информации к ее приемнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое сообщение, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приемнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением. Например, сообщение, содержащее информацию о прогнозе погоды, передается приемнику (телезрителю) от источника — специалиста-метеоролога посредством канала связи — телевизионной передающей аппаратуры и телевизора. Живое существо своими органами чувств воспринимает информацию из внешнего мира, перерабатывает ее в определенную последовательность нервных импульсов, передает импульсы по нервным волокнам, хранит в памяти в виде состояния нейронных структур мозга, воспроизводит в виде звуковых сигналов, движений и т.п., использует в процессе своей жизнедеятельности. Передача информации по каналам связи часто сопровождается воздействием помех, вызывающих искажение и (или) потерю информации.

Можно ли объективно измерить количество информации? Какое количество информации содержится, к примеру, во фресках Рафаэля? Ответа на этот вопрос нет, хотя важнейшим результатом теории информации является вывод: в определенных, весьма широких условиях можно пренебречь качественными особенностями информации, выразить ее количество числом, а также сравнить количество информации, содержащейся в различных группах данных.

Получили распространение подходы к определению понятия «количество информации», основанные на том, что информацию, содержащуюся в сообщении, можно нестрого трактовать в смысле уменьшения неопределенности наших знаний об объекте. Так, американский инженер Р. Хартли (1928) процесс получения информации рассматривал как выбор одного сообщения из конечного, заранее заданного множества из N равновероятных сообщений, а количество информации I , содержащееся в выбранном сообщении, определял как двоичный логарифм N ($I = \log_2(N)$).

Допустим, нужно угадать одно число из набора чисел от единицы до ста. По формуле Хартли можно вычислить, какое количество информации для этого требуется: $I = \log_2(100)$, т.е. сообщение о верно угаданном числе содержит количество информации, приблизительно равное 6,644 единицы информации. Примеры равновероятных сообщений — бросание монеты («выпала решка», «выпал орел»), на странице книги — «количество букв четное», «количество букв нечетное». Определим теперь, являются ли равновероятными сообщения «Первой выйдет из дверей здания женщина» и «Первым выйдет из дверей здания мужчина». Однозначно ответить на этот вопрос нельзя. Все зависит от того, о каком именно здании идет речь. Если это, например, станция метро, то вероятность выйти из дверей первым одинакова и для мужчины, и для женщины, а если это военная казарма, то для мужчины эта вероятность значительно выше, чем для женщины.

Для задач такого рода американский ученый Клод Шеннон предложил в 1948 г. другую формулу определения количества информации, учитывающую возможную неодинаковую вероятность сообщений в наборе:

$$I = -(P_1 \log_2 P_1 + P_2 \log_2 P_2 + \dots + P_N \log_2 P_N),$$

где P_i — вероятность того, что именно i -е сообщение выделено в наборе из N сообщений.

Легко заметить, что если вероятности $P_1 - \dots - P_N$ равны, то каждая из них равна $1/N$, и формула Шеннона превращается в формулу Хартли.

Помимо двух рассмотренных подходов к определению количества информации, существуют и другие, однако необходимо учесть, что любые теоретические результаты применимы лишь к определенному кругу случаев, очерченному первоначальными допущениями.

Решая различные задачи, человек вынужден использовать информацию об окружающем нас мире. И чем более полно и подробно человеком изучены те или иные явления, тем подчас проще найти ответ на поставленный вопрос. Так, например, знание законов физики позволяет создавать сложные приборы, а для того чтобы перевести текст на иностранный язык, нужно знать грамматические правила и помнить много слов.

Часто приходится слышать, что то или иное сообщение несет мало информации или, наоборот, содержит исчерпывающую информацию. При этом разные люди, получившие одно и то же сообщение (например, прочитав статью в газете), по-разному оценивают количество информации, содержащейся в нем. Это происходит оттого, что знания людей об этих событиях (явлениях) до получения сообщения были различными. Поэтому те, кто знал об этом мало, сочтут, что получили много информации, те же, кто знал больше, чем написано в статье, скажут, что информации не получили вовсе. Количество информации в сообщении, таким образом, зависит от того, насколько ново это сообщение для получателя. Однако иногда возникает ситуация, когда людям сообщают много новых для них сведений, а информацию при этом они практически не воспринимают. Происходит это от того, что сама тема в данный момент слушателям не представляется интересной.

Итак, количество информации зависит от новизны сведений об интересном для получателя информации явлении. Иными словами, неопределенность (т.е. неполнота знания) по интересующему нас вопросу с получением информации уменьшается. Если в результате получения сообщения будет достигнута полная ясность в данном вопросе (т.е. неопределенность исчезнет), говорят, что была получена *исчерпывающая информация*. Это означает, что необходимости в получении дополнительной информации на эту тему нет. Напротив, если после получения сообщения неопределенность осталась прежней (сообщаемые сведения или уже были известны, или не относятся к делу), значит, информации получено не было (*нулевая информация*).

Если подбросить монету и проследить, какой стороной она упадет, то будет получена определенная информация. Обе стороны монеты «равноправны», поэтому одинаково вероятно, что выпадет как одна, так и другая сторона. В таких случаях говорят, что событие несет информацию в 1 бит. Если положить в мешок два шарика разного цвета, то, вытащив вслепую один шарик, мы также получим информацию о цвете шарика в 1 бит.

Один бит (от англ. *bit* — *binary*, *digit* — двоичная цифра) условились принять за единицу информации. **Бит** — количество информации, достаточное для различия двух равновероятных сообщений, а в вычислительной технике битом называют наименьший объем памяти, необходимый для хранения одного из двух знаков «0» или «1», используемых для внутримашинного представления данных и команд. Бит — мелкая единица измерения. На практике чаще применяется более крупная единица — байт, равная восьми битам. Широко используются также еще более крупные производные единицы информации: 1 Килобайт (Кбайт) = 1024 байт = 2^{10} байт; 1 Мегабайт (Мбайт) = 1024 Кбайт = 2^{20} байт; 1 Гигабайт (Гбайт) = 1024 Мбайт = 2^{30} байт.

В последнее время в связи с увеличением объемов обрабатываемой информации входят в употребление такие производные единицы, как: 1 Терабайт (Тбайт) = 1024 Гбайт = 2^{40} байт; 1 Петабайт (Пбайт) = 1024 Тбайт = 2^{50} байт.

Информацию можно создавать, передавать, воспринимать, использовать, запоминать, принимать, копировать, делить на части, упрощать, собирать, хранить, искать, измерять, разрушать и др. При этом информация может обладать следующими свойствами — достоверностью, полнотой, ценностью, понятностью, доступностью, точностью и др.

Информация достоверна, если она отражает истинное положение дел. Недостоверная или неточная информация может привести к неправильному пониманию или принятию неправильных решений. Достоверная информация со временем может стать недостоверной, так как она обладает свойством устаревать, т.е. перестает отражать истинное положение дел.

Информация полна, если ее достаточно для понимания явлений и принятия решений. Как неполная, так и избыточная информация сдерживает принятие решений или может вызвать ошибки. Точность информации определяется степенью ее близости к реальному состоянию объекта, процесса или явления.

Ценность информации зависит от того, насколько она важна для решения задачи, а также от того, какое в дальнейшем она найдет применение в каких-либо видах деятельности человека. Только своевременно полученная информация может принести ожидаемую пользу. Одинаково нежелательны как преждевременная подача информации (когда она еще не может быть усвоена), так и ее задержка. Если ценная и своевременная информация выражена непонятным образом, она бесполезна.

Информация понятна, если она выражена языком, на котором говорят те, кому предназначена эта информация.

Информация должна преподноситься в доступной (по уровню восприятия) форме. Поэтому одни и те же вопросы по-разному излагаются в школьных учебниках и научных изданиях.

Информацию по одному и тому же вопросу можно изложить нечетко (невнятное описание, без определенных деталей).

Обработка информации — получение одних информационных объектов из других информационных объектов путем выполнения некоторых алгоритмов. Обработка — одна из основных операций, выполняемых над информацией, и может быть средством увеличения объема и разнообразия информации.

Средства обработки информации — это всевозможные устройства и системы, созданные человеком, например это компьютер — универсальная машина для обработки информации. Компьютеры обрабатывают информацию путем выполнения некоторых алгоритмов. Живые организмы и растения обрабатывают информацию с помощью своих органов и систем.

Информационные ресурсы — это совокупность данных, организованных для эффективного получения достоверной информации. Это книги, статьи, патенты, научно-исследовательская и опытно-конструкторская документация, технические переводы, медицинские данные и др.

Информационная технология — это совокупность методов и устройств, используемых людьми для обработки информации. Человечество занималось обработкой информации тысячи лет. Первые информационные технологии основывались на использовании различных счетов (для выполнения расчетов) и письменности (для представления и передачи данных). Более пятидесяти лет назад началось быстрое развитие этих технологий, что связано с появлением ЭВМ.

В настоящее время термин «информационная технология» употребляется в связи с использованием компьютеров для обработки информации.

Информационные технологии охватывают всю вычислительную технику и средства связи. Они находят широкое применение в промышленности, торговле, управлении, банковской системе, образовании, здравоохранении, медицине, т.е. практически во всех сферах деятельности современного человека.

1.2. ОСНОВЫ ФОРМАЛЬНОЙ ЛОГИКИ

Появление математической логики относится еще ко временам Древнего Рима и связано с именем Лукулла. Позже Аристотель написал труд, посвященный вопросам умозрительных логических заключений, послуживший основой для дальнейшего ее развития. В более поздние времена Лейбниц (1646—1716) внес некоторый прогресс в эту область, но наиболее интенсивно математическая логика стала развиваться во второй половине XIX в. и в начале XX в. Наибольший вклад в эту науку внесли Дж. Буль (1815—1864), Г. Фреге (1848—1925), Давид Гильберт (1862—1943) и др.

Математическая логика возникла в результате изучения умозаключений, используемых в построениях математических доказательств. Особенно это относится к открытию великим русским математиком Н.И. Лобачевским возможности построить непротиворечивым образом геометрию, исходя из систем аксиом, отличной от евклидовой. В дальнейшем, на основании изучения рассуждений в математике и попытке их описания с помощью введенной системы символов, была создана математическая логика. Особая роль здесь принадлежит Дж. Булю, который ввел в математическую логику символику и раздел переключательных функций; данная часть математической логики нашла широкое практическое применение в вычислительной технике для описания различных логических функций, а также в программировании при создании современных информационных систем.

В современном компьютере для преобразования информации используется двоичная система счисления, т.е. различаются только два состояния. Эти состояния принимаются за символы двоичного алфавита «0» и «1». Их физические аналоги — это низкий и высокий потенциал, наличие или отсутствие импульса, наличие или отсутствие намагниченности. Действия над ними внутри компьютера осуществляются с помощью типовых элементов, соединенных между собой определенным образом. Следовательно, задача построения любого

устройства персонального компьютера заключается, прежде всего, в выборе необходимых элементов, а затем — в отыскании способов такого их соединения между собой, которое обеспечивало бы выполнение устройством заданного преобразования. Эту задачу решает математическая логика, которая, отвлекаясь от физической природы изучаемых явлений или событий, анализирует высказывания о них лишь с позиций истинности или ложности.

Высказывание в математической логике — это утверждение, которое может быть либо истинным, либо ложным. Различают простые и сложные высказывания. Высказывание, значение истинности которого не зависит от значений истинности других высказываний, называется *простым*. Высказывание, значение истинности которого зависит от других высказываний, называется *сложным*. Сложные высказывания образуются из простых с помощью так называемых связок. Для простоты и удобства ложное высказывание обозначается цифрой «0», а истинное — «1».

Сложные высказывания являются логическими функциями простых и тоже могут принимать значения «0» или «1». В этом случае простые высказывания называются *двоичными переменными* (аргументами), а функции двоичных аргументов называются *переключательными*, или булевыми. Итак, переключательными функциями называют сложные высказывания, которые являются логическими функциями простых высказываний и могут принимать значения «0» или «1».

Характерным для этих функций по сравнению с алгебраическими функциями является ограниченность их значений. Поэтому их значения можно задавать в табличной форме. Табличная запись логической функции в зависимости от значений двоичных аргументов называется *таблицей состояний*, или *таблицей истинности*.

В таблице истинности значения аргументов представлены всевозможными комбинациями нулей и единиц. Если число двоичных элементов, от которых зависит функция, равно k , то максимально возможное число различных наборов равно 2^k .

Будем обозначать булеву функцию символом F_i , где i — это число, соответствующее двоичному набору функций, читаемых сверху вниз (если она задана в виде таблицы состояний), записанное в десятичной системе.

Рассмотрим четыре булевы функции одного аргумента (табл. 1.1). Общее число наборов 2, а число возможных значений функций — $2^2 = 4$.

Таблица 1.1. Переключательные функции одного аргумента

X	F_1	F_2	F_3	F_4
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

Особенности этих функций: F_1 и F_4 независят от значения переменной X , при этом F_1 — константа 0, а F_4 — константа 1, $F_2 = X$, $F_3 =$ отрицание X .

Если рассматривать два аргумента, то возможное число наборов значений, на которых может быть определена функция, равно 4, а число самих функций равно 16. Все существующие функции представлены в табл. 1.2. Переключательные функции двух аргументов имеют особый смысл для логики переключательных функций, так как с их помощью вводятся все основные понятия для функций большего количества аргументов.

Таблица 1.2. Переключательные функции двух аргументов

X_1	X_2	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Шесть функций нам известны по аналогии с функцией одного аргумента: F_1 — константа 0, F_{16} — константа 1, $F_4 = X_1$, $F_6 = X_2$, $F_{13} =$ отрицание X_1 , $F_{11} =$ отрицание X_2 . Оставшиеся функции имеют самостоятельное значение.

F_2 носит название *конъюнкции*, или *логического произведения*. Она равна 1, когда оба аргумента равны 1. Эти значения совпадают с произведением одноразрядных двоичных чисел. Для обозначения конъюнкции используют символы « $\wedge$ » или «*». Часто ее называют операцией логического «И».

F_3 называют *запретом по X_2* . Эта функция равна 1 только в одном случае — при равенстве первого аргумента «1», а второго «0». Если аргументы поменять местами, то можно найти еще одну функцию запрета — F_5 (запрет по X_1).

Функция F_7 носит название *неравнозначности*. Иногда ее называют «сложение по модулю 2», так как значения этой функции представляют

собой поразрядную сумму аргументов X_1 и X_2 . F_7 принимает значение «1» тогда и только тогда, когда оба аргумента отличны друг от друга.

Функцию F_8 называют *дизъюнкцией*, или *логическим сложением*, и обозначают символом «+» или «V». Она равна «1», если хотя бы один из аргументов равен «1». Данную функцию часто называют операцией «ИЛИ».

Функция F_9 называется *функцией Даггера*, или *стрелкой Пирса*. Она равняется единице только в одном случае — при равенстве обоих аргументов нулю. Поэтому функцию Даггера часто называют операцией «ИЛИ—НЕ».

Функцию F_{10} называют *равнозначностью*, так как она принимает значение, равное «1», только при условии равенства обоих аргументов. Обозначают эту функцию символом « $\sim$ ».

Две функции — F_{12} и F_{14} — носят название *импликации и обратной импликации*. Эти функции обозначаются горизонтальной стрелкой и равны нулю только в одном случае — если первый аргумент равен нулю, а второй — единице, и наоборот.

Функция F_{15} называется *функцией Шеффера* и обозначается вертикальной чертой. Эта функция равна нулю только в одном случае — при равенстве единице обоих аргументов. Функцию Шеффера часто называют операцией «И—НЕ».

Из табл. 1.2 можно видеть, что все существующие функции из двух аргументов попарно связаны между собой с помощью инверсии. Сравнивая значения функций различных столбцов, видим, что можно выразить ряд одних функций через другие. Возникает вопрос, сколько и каких функций необходимо для представления любой функции двух аргументов. Такие наборы называют *функционально полными*. Оказывается, что таких наборов функций может быть несколько. Наибольшее распространение получил набор функций «И», «ИЛИ», «НЕ».

Рассмотренные свойства 16 функций двух аргументов позволяют описывать функции большего, чем 2, числа аргументов, так как любую функцию можно представить как функцию двух аргументов.

1.3. ОСНОВЫ АЛГОРИТМИЗАЦИИ

Алгоритм — это заранее заданное понятное и точное предписание возможному исполнителю совершить определенную последовательность действий для получения решения задачи за конечное число шагов. При этом алгоритм должен обладать следующими свойствами:

- детерминированность (определенность), которая заключается в том, что каждой команде соответствует строго определенное действие;
- результативность — получение результата за конечное число шагов;
- массовость — возможность использования для большого набора исходных данных.

Существуют различные способы представления и записи алгоритмов: словесное описание, графическое в виде блок-схемы, на языке программирования. Словесное описание используется в основном для целей обучения. Блок-схемы алгоритмов необходимы при проектировании программ. Языки программирования — при записи алгоритма для последующего выполнения на компьютере.

При записи алгоритмов используется пять основных алгоритмических операторов.

Оператор *присваивания* записывается в следующей форме: <ПЕРЕМЕННАЯ> := <ВЫРАЖЕНИЕ>, где «:=» — знак присваивания, <выражение> — переменные или константы, соединенные знаками операций (например, а := 2). Действие оператора присваивания означает, что значение переменной, стоящей слева от знака «:=», заменяется на значение переменной, либо константы, либо выражения, стоящего справа от знака «:=».

Оператор перехода (безусловный переход) в словесной форме записывается в виде: <ПЕРЕЙТИ К ШАГУ №>. Действие оператора изменяет естественную последовательность выполнения операторов (в порядке номеров).

Оператор ветвления (условия). В словесной форме записывается в виде:

ЕСЛИ <ОТНОШЕНИЕ>, ТО {<1-й оператор> или <2-й оператор>}, где <ОТНОШЕНИЕ> — это переменная или константа, соединенная знаком отношения: <, >, = и др.

При выполнении отношения могут получиться логические значения: «ИСТИНА» или «ЛОЖЬ», которые можно обозначить 1 или 0. Фигурные скобки обозначают, что выполняется один из перечисленных операторов (1-й или 2-й).

Действие оператора вызывает альтернативное изменение естественной последовательности либо выполнение дополнительного действия (например, оператор присваивания) в зависимости от условий выполнения <ОТНОШЕНИЕ>. В результате выполнения всегда

существует две альтернативы: либо выполнение алгоритма обычным последовательным ходом, т.е. выполнение 1-го оператора, если значение <ОТНОШЕНИЕ> истинно, либо выполнение 2-го оператора, если значение <ОТНОШЕНИЕ> ложно.

Оператор ввода в словесной форме записывается в виде:

ВВОД (<СПИСОК ПЕРЕМЕННЫХ>),

где список переменных — перечень переменных через запятую, например ВВОД (X, Y). Действие оператора — задание конкретных значений переменным списка. В программировании соответствует передаче в память ЭВМ конкретных значений переменных.

Оператор вывода в словесной форме можно представить так:

ПЕЧАТЬ (<СПИСОК ПЕРЕМЕННЫХ>),

где список переменных — перечень переменных через запятую, например Печать (X, Y). Действие оператора — выдача конкретных значений переменных списка (например, на устройство печати для представления результатов). Необходимо отметить, что в списке переменных могут встречаться не только переменные, но и константы, в частности символьные константы. Символьные константы — это текст, заключенный в кавычки, например: «ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ X=». Тогда на печать вместе со значением переменной можно выдать пояснительный текст.

При записи алгоритмов используют также пустые операторы, которые в словесном виде записываются как НАЧАЛО и КОНЕЦ. Данные операторы служат для указания начала алгоритма и его окончания.

1.4. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

В ЭВМ арифметические действия производятся над числами, представленными в виде специальных машинных кодов в принятой для данной машины системе счисления.

Под системой счисления понимается способ наименования и изображения чисел с помощью символов, имеющих определенное количественное значение. Используемые для изображения чисел символы называются цифрами.

Существуют позиционные и непозиционные системы счисления. *Позиционной системой счисления* называется такая, в которой коли-

чественное значение каждой цифры зависит от ее места (позиции) в числе, например арабская система счисления, которой мы широко пользуемся.

В *непозиционной системе счисления* цифры не меняют своего количественного значения при изменении положения в записи числа, например римская система счисления. Здесь число выражается совокупностью цифр, значение которых определяется конфигурацией символов.

Римская система счисления относится к аддитивным непозиционным системам, в которых значения числа получается суммированием значений цифр. Существуют также *мультипликативные системы счисления*, которые используют операцию умножения для получения значения числа.

Одна из наиболее древних систем счисления — египетская иероглифическая, которая возникла 2500–3000 лет до н.э. Эта система является аддитивной непозиционной десятичной. Числа в ней получаются в виде сумм рядом стоящих цифр.

Более совершенными были алфавитные системы — ионийская, еврейская, славянская, арабская, грузинская, армянская. Наиболее ранняя из них — ионийская, V век до н.э. В алфавитных системах числа от 1 до 9, десятки и сотни обозначались буквами алфавита с отличительной чертой. Арифметические операции в этих системах выполняются значительно легче, чем в аддитивных непозиционных.

Наиболее ранней из позиционных систем счисления была вавилонская, возникшая за 2000 лет до н.э.

Современная десятичная система счисления возникла в Индии не позднее V в. н. э. До этого времени в Индии применялись аддитивные и мультипликативные системы. Вскоре после возникновения десятичная система была заимствована другими народами, в том числе и арабами. Появление ее в Европе связано с переводом арабских рукописей. В России замена алфавитной системы на десятичную позиционную произошла в начале XVIII в.

Достоинство позиционной системы — компактность записи, недостаток — наличие переносов при выполнении арифметических операций с числами.

В позиционных системах счисления различают однородные и неоднородные (смешанные) системы. *Однородная* — это система, в которой количество допустимых символов всех разрядов одинаково. *Неоднородная* система — это система, в которой количество допустимых цифр для

разных разрядов различно. Например, система измерения времени: в разряде часов 24 символа, в разрядах минут и секунд — 60.

В вычислительной технике нашли применение в основном однородные позиционные системы счисления со значением основания $n = 1$ (унитарная), 2, 3, 8, 10, 16. Наиболее широко используется двоичная система. Есть машины с троичным представлением чисел. Используется также смешанная однородная двоично-десятичная система.

Запись числа в однородной позиционной системе счисления можно представить следующим образом:

$$A = a_{m-1}a_{m-2} \dots a_k \dots a_1a_0a_{-1} \dots a_{-k},$$

т.е. в виде последовательности цифр, где позиции с индексом k называются разрядами числа.

Число получается в виде суммы:

$$A = [a_{m-1}N^{m-1} + a_{m-2}N^{m-2} + \dots + a_1N + a_0 + a_{-1}N^{-1} + \dots + a_{-k}N^{-k}],$$

где N — основание системы, m — номер позиции.

Основание системы счисления определяет и ее название: десятичная, двоичная и др.

В ЭВМ наиболее просто реализуются процессы выполнения арифметических и логических действий над числами в двоичной системе счисления, так как:

- используются логические элементы с двумя устойчивыми состояниями;
- для реализации двоичных чисел требуется меньшее количество элементов по сравнению, например, с десятичной (наиболее экономная в этом смысле троичная система);
- в двоичной системе просто реализовать арифметические и логические операции над числами.

Обычно при арифметических операциях числа имеют одинаковое количество разрядов. Однако для увеличения точности может предусматриваться увеличение количества разрядов в 2 раза. Наибольший интерес представляет выполнение операций умножения и деления.

В запоминающем устройстве ЭВМ числа хранятся в прямом коде, где старший разряд определяет знак числа — «0» для положительных и «1» для отрицательных чисел соответственно. Операции алгебраического сложения или вычитания осуществляются с учетом знаков, при этом одно из чисел представляется в обратном (дополнение двоичного числа в прямом коде до максимально возможного в данном количестве

разрядов) или дополнительном коде (обратный код + 1). При отсылке результатов в запоминающее устройство производится преобразование обратного и дополнительного кодов в прямой.

При умножении цифровая часть числа и знаковая разделяются в операции. Знак анализируется отдельно, а цифровые части рассматриваются как абсолютные числа.

Процесс перемножения цифровых частей сомножителей заключается в поразрядном умножении цифровой части множимого на каждую цифру множителя. При этом умножение может производиться со сдвигом множимого или сумм частных произведений как влево, так и вправо. Сдвиги влево происходят в случае, если умножение осуществляется с младшего разряда множителя, вправо — если оно начинается со старшего.

Процесс деления в машинах состоит из последовательности операций вычитания и сдвигов, во многом аналогичен делению вручную. В то же время процесс машинного деления имеет специфические особенности. Одна из них — представление делителя в дополнительном или обратном коде при вычитании его из делимого или остатков.

Другая особенность заключается в том, что перед каждым очередным вычитанием обычно сдвигается на разряд влево остаток, получаемый на предыдущем шаге деления, а не делитель вправо, как это делается вручную. Существуют два метода деления: с восстановлением остатка и без восстановления остатка. Если при делении с восстановлением остатка очередной остаток отрицательный, то для получения следующего разряда частного восстанавливается предыдущий положительный остаток путем прибавления делителя к отрицательному остатку. Восстановленный остаток сдвигается на один разряд влево, и теперь уже из него вычитается делитель.

При втором методе деления отрицательный остаток не восстанавливается. Для определения очередного разряда частного отрицательный остаток сдвигается на один разряд влево, и к нему прибавляется делитель. Поскольку сдвиг двоичного остатка на один разряд влево соответствует в этом случае умножению его на 10_2 , то прибавление к сдвинутому отрицательному остатку делителя равносильно вычитанию делителя для предварительно восстановленного и сдвинутого остатка, следовательно, при таком способе продолжения деления восстановление остатка происходит автоматически.

Знак определяется аналогично умножению и добавляется после. Арифметические операции над числами с плавающей запятой отли-

чаются от предыдущих тем, что здесь вводятся операции над порядками — как с целью определения порядка результата, так и для подготовки мантисс, например к сложению и вычитанию.

При выполнении операции сложения коды чисел при выборе из запоминающего устройства разделяются на порядки и мантиссы, затем они поступают в различные схемы арифметико-логического устройства. В схемах, оперирующих с порядками, они сравниваются. Наиболее просто это осуществляется, если вместо истинных порядков используются характеристики. Если порядки слагаемых неодинаковы, то осуществляется выравнивание порядков путем сдвига вправо мантиссы числа с меньшим порядком и, соответственно, увеличением последнего. Поскольку мантиссы представляются меньшими единицы, то чтобы не получить мантиссы больше единицы, порядки следует выравнивать в сторону большего порядка.

Таким образом, сложение чисел с разными порядками состоит из трех этапов:

- выравнивания порядков слагаемых;
- сложения мантисс;
- нормализации результата (значение мантиссы принимает значение от 0,1 до 1).

Мантиссы слагаемых с выровненными порядками складываются аналогично сложению чисел с фиксированной запятой. Для представления отрицательных мантисс используют дополнительный и обратный коды.

Результат алгебраического сложения может превысить максимально возможное число, которое может быть представлено в машине. В этом случае возникает сигнал прерывания или аварийный останов.

При вычитании в машине производится вычитание чисел с разными порядками или алгебраическое сложение чисел с разными знаками.

Это производится аналогично сложению в три этапа:

- выравнивание порядка;
- вычитание мантисс;
- нормализация результата.

Перед выравниванием порядка анализируется знак вычитаемого и меняется на обратный. Далее все делается, как при сложении.

При операции умножения перемножение мантисс чисел, представленных в форме с плавающей запятой, выполняется аналогично умножению чисел, представленных в естественной форме с фиксированной

запятой. Порядок произведения определяется путем суммирования порядков сомножителей.

В общем случае процесс умножения состоит из следующих этапов:

- определение знака произведения путем сложения знаковых разрядов мантисс сомножителей;
- определение порядка произведения;
- перемножение мантисс;
- нормализация результата.

При делении чисел, представленных в полулогарифмическом масштабе, мантисса частного определяется путем деления мантисс делимого на мантиссу делителя, а порядок частного — вычитанием порядка делителя из порядка делимого. Деление мантисс выполняется точно так же, как и деление чисел с фиксированной запятой, выраженных в виде правильных дробей.

В общем случае процесс деления в машинах с плавающей запятой состоит из следующих этапов:

- определение знака частного;
- определение порядка частного;
- деление мантисс;
- нормализация результата.