



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

# Компьютерные сети

*Учебник*

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**FOLIANT**

Нур-Султан  
2019

**УДК 004**  
**ББК 32.973–018**  
**К 55**

**Автор:**

**Хаузер Бернхард Ю.** – дипломированный инженер

**Редакционная коллегия:**

**Барт Александр,** дипломированный инженер

**Рецензенты:**

**Шангытбаева Г. А.** – *PhD доктор по специальности «Информационные технологии» Актыюбинского регионального государственного университета им. К. Жубанова*

**Тукубаев А. С.** – *преподаватель специальных дисциплин, магистр техники и технологии Высшего технического колледжа г. Щучинска*

**Файзрахманова Р. Р.** – *преподаватель-практик КГУ «Карагандинский профессионально-технический колледж»*

**К 55 Компьютерные сети** / Пер. с немецкого. – Нур-Султан: Фолиант, 2019. – 264 с.

**ISBN 978-601-338-398-9**

Учебник «Компьютерные сети» дает основные знания по основам современных сетевых технологий. Написанная простым языком, книга легкодоступна для понимания. Многочисленные иллюстрации и таблицы, а также практические примеры способствуют быстрому усвоению материала. Большое количество специальных положений для запоминания усиливает эффективность обучения. Содержащиеся в конце соответствующих глав упражнения позволяют проверить достигнутый уровень знаний.

Наряду с незначительным расширением материала и актуализацией таких систем, как IoT или Firewall-/DMZ, в настоящее издание в качестве новой главы включено сетевое администрирование.

Данный учебник рекомендуется для студентов учебных заведений технического и профессионального образования, обучающихся по специальностям 1304000 «Вычислительная техника и программное обеспечение» (по видам), 1305000 «Информационные системы» (по областям применения) в качестве дополнительной литературы. Представляет интерес для специалистов по информатике, информационным технологиям, электронике и технологиям обработки данных, а также для тех, кто интересуется современными сетевыми технологиями в области IT.

**УДК 004**  
**ББК 32.973–018**

**ISBN 978-601-338-398-9**

© 2018 Verlag Europa-Lehrmittel, Nourmey  
© Издательство «Фолиант», переводная, 2019

---

## Предисловие

Современные сетевые и коммуникационные технологии нашли свое отражение во всех сферах жизни. Невозможно представить повседневность без коммуникационных сетей. Постоянно развивающиеся сети в нашей повседневной жизни, а также быстрое развитие технологий обуславливают тот факт, что необходимость серьезных базовых знаний в этой области приобретает все большую важность.

Данный учебник «**Компьютерные сети**» предназначен для всех читателей, которые желают изучить и понять основы современных сетевых технологий. Издание представляет основные концепции и важные взаимосвязи в работе компьютерных сетей, таким образом, закладывается основа для желающих углубить свои знания по данной тематике.

Поэтому данная книга подходит для **обучающихся в области ИТ-профессий**, включая **специалистов по информатике, информационным технологиям**, электронике и технологиям обработки данных, а также для **студентов технических дисциплин**, для которых в настоящее время необходимы знания основ сетевых конструкций.

Книга содержит следующие разделы:

- ▶ 1 Основы компьютерных технологий
- ▶ 2 Топология сетей и кабельная система
- ▶ 3 Сети общего пользования
- ▶ 4 Базовые модели, сетевые устройства
- ▶ 5 Адресация
- ▶ 6 Сетевые протоколы
- ▶ 7 Переключение и маршрутизация
- ▶ 8 Технология передачи данных
- ▶ 9 Управление сетью

Сознательно написанная простым языком книга легкодоступна для понимания. Многочисленные **иллюстрации** и **таблицы**, а также практические **примеры** способствуют быстрому усвоению материала. Большое количество **упражнений** для запоминания усиливает эффективность обучения. Содержащиеся в конце соответствующих глав упражнения позволяют проверить **достигнутый уровень знаний**.

Наряду с незначительным расширением материала и актуализацией таких систем, как IoT или Firewall-/DMZ, в 3-е издание в качестве новой главы включено сетевое администрирование.

Всем читателям мы хотим пожелать радости и успеха от прочтения данной книги. Для нас важно ваше мнение! Замечания и предложения, пожалуйста, направляйте по электронной почте [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)

Весна 2018

Авторы и издательство

---

## Содержание

Предисловие .....	3
<b>1 Основы компьютерных технологий.....</b>	<b>9</b>
1.1. Об истории .....	9
1.2. Повседневная жизнь сети .....	10
1.3. Истоки: от счетной доски до вычислительного устройства компании ZUSE .....	10
1.4. Сверхмощная вычислительная машина .....	12
1.5. Первые персональные компьютеры .....	12
1.6. Сети ПК.....	13
1.6.1. Развитие кабельной сети .....	14
1.6.2. Услуги сервера.....	15
1.7. Определения терминов.....	16
1.7.1. Классификация сети по охвату.....	16
1.7.2. Аналоговые и цифровые сигналы .....	16
1.7.3. Коммутация каналов и пакетов .....	18
1.7.4. Системы адресации .....	19
1.7.5. Передача данных.....	20
1.7.6. Скорость передачи данных С .....	23
1.8. Мультиплексирование .....	24
1.8.1. Режимы функционирования.....	24
1.8.2. Временное мультиплексирование (Time Division Multiplexing TDM) .....	24
1.8.3. Мультиплексирование с частотным разделением, Frequency Division Multiplexing FDM.....	26
1.8.4. Мультиплексирование с разделением по длине волны, Wave Division Multiplexing WDM.....	26
1.8.5. Мультиплексирование с пространственным разделением, Space Division. Multiplexing SDM.....	27
1.8.6. Мультиплексирование с кодовым разделением, Code Division Multiplexing CDMA.....	28
1.9. Упражнения к разделу «Основы компьютерных технологий» .....	30
<b>2 Топология сетей и кабельная система .....</b>	<b>31</b>
2.1. Топология сетей.....	31
2.1.1. Шина .....	31
2.1.2. Звезда/Star .....	31
2.1.3. Кольцо.....	32
2.1.4. Решетка .....	32
2.1.5. Линия .....	33
2.1.6. Ячеистая топология.....	33
2.1.7. Смешанные топологии .....	34
2.2. Процедура доступа.....	36
2.2.1. CSMA/CD .....	36
2.2.2. CSMA/CA .....	37
2.2.3. Token Passing .....	38
2.3. Универсальная кабельная сеть зданий .....	38
2.3.1. Структурированная кабельная система .....	38
2.3.2. Сетевые классы и категории.....	42
2.3.3. Измерения при сдаче-приемке .....	43
2.4. Сетевые среды.....	44
2.4.1. Обозначения сети.....	45

---

2.4.2. Медные кабели .....	47
2.4.3. Схема соединений.....	49
2.4.4. Световоды (LWL).....	52
2.4.5. Беспроводные соединения .....	53
2.5. Упражнения к разделу «Топология сетей и кабельная система» .....	54
<b>3. Сети общего пользования.....</b>	<b>55</b>
3.1. Стационарная сеть .....	55
3.1.1 Аналоговый телефон.....	55
3.1.2. ISDN – цифровая сеть с интеграцией услуг .....	56
3.1.3. Обычная аналоговая телефонная линия (POTS) .....	57
3.1.4. Телефонная коммутируемая сеть общего пользования (Public Switched Telephone Network – PSTN) .....	59
3.1.5. Базовая сеть .....	60
3.1.6. Сеть доступа .....	61
3.1.7. Цифровая абонентская линия (DSL).....	62
3.2. Сеть мобильной связи.....	64
3.2.1. GSM, сеть 2G .....	65
3.2.2. GPRS, сеть 2,5G .....	68
3.2.3. UMTS, сеть 3G .....	69
3.2.4. LTE, сеть 4G, NGMN .....	69
3.2.5. Мобильная сеть пятого поколения, сеть 5G .....	70
3.2.6. Указатель на дисплее .....	70
3.3. Интернет .....	70
3.4. Сеть кабельного телевидения .....	71
3.4.1. Построение сети .....	71
3.4.2 Скорость передачи данных в Интернете через сети кабельного телевидения .....	73
3.5 VoIP – передача речи по протоколу IP.....	73
3.6. IoT – технология «Интернет вещей» .....	75
3.7. Упражнения к разделу «Сети общего пользования» .....	76
<b>4 Базовые модели, сетевые устройства .....</b>	<b>77</b>
4.1 Многоуровневые модели .....	77
4.1.1. Многоуровневые модели в процессе коммуникации .....	78
4.1.2. Модель DOD или TCP/IP .....	80
4.1.3. Многоуровневая модель ISO/OSI .....	81
4.1.4. Пакет протоколов (Protocolstack).....	83
4.1.5. Инкапсуляция (Encapsulation).....	83
4.2. Сетевые устройства .....	84
4.2.1. Повторитель (Repeater) и концентратор (Hub) .....	84
4.2.2. Мост (Bridge) и коммутатор (Switch).....	86
4.2.3. Маршрутизатор (Router).....	88
4.2.4. Шлюз (Gateway).....	89
4.3. Сетевое устройство защиты (Firewall) .....	89
4.4. Демилитаризованная зона (DMZ) .....	91
4.5. Программно-конфигурируемая сеть (SDN – Software Defined Networking).....	92
4.6. Упражнения к разделу «Базовые модели, сетевые устройства» .....	94
<b>5. Адресация .....</b>	<b>95</b>
5.1. Порты – транспортный уровень.....	95
5.2. IP-адреса – сетевой уровень .....	97
5.3. MAC-адреса – уровень передачи данных.....	97

---

5.4. Классы IP-адресов.....	98
5.4.1. Класс А.....	98
5.4.2. Класс В.....	99
5.4.3. Класс С.....	100
5.4.4. Класс D.....	100
5.4.5 Класс E.....	100
5.5. Соотношение частей сети и хоста.....	101
5.5.1. Маска подсети.....	101
5.5.2. CIDR – маршрутизация между доменами без разделения на классы.....	102
5.6. Формирование подсетей I.....	103
5.7. Специальные адреса и исключения.....	104
5.8. Формирование подсетей II.....	106
5.9. Частные диапазоны адресов.....	106
5.10. IP-настройки.....	107
5.11. Новый IP – IPv6.....	107
5.12. Упражнения к разделу «Адресация».....	110
5.12.1. Адреса.....	110
5.12.2. Подсети.....	111
<b>6. Сетевые протоколы.....</b>	<b>113</b>
6.1. Прикладной уровень, TCP/IP уровень 4, OSI уровень 7.....	113
6.2. Транспортный уровень, TCP/IP уровень 3, OSI уровень 4.....	113
6.2.1. Протокол TCP.....	114
6.2.2. Протокол дейтаграмм пользователя.....	116
6.3. Интернет-уровень, TCP/IP уровень 2, OSI уровень 3.....	117
6.4. Уровень доступа к сети, TCP/IP уровень 1, OSI уровни 1 и 2.....	119
6.5. Ethernet.....	120
6.6. Инкапсуляция пакета данных.....	122
6.7. Адресное разрешение.....	124
6.7.1 ARP-протокол разрешения адресов.....	124
6.7.2. Протокол DNS.....	126
6.7.3. Пример распознавания имени.....	133
6.7.4. Протокол DHCP.....	133
6.8. Процесс начала сеанса TCP.....	135
6.8.1 Управление окнами.....	139
6.9. Упражнения к разделу «Сетевые протоколы».....	142
6.9.1. Протоколы.....	142
6.9.2. TCP/UDP.....	143
<b>7. Переключение и маршрутизация.....</b>	<b>145</b>
7.1. Переключение.....	145
7.1.1. Переключатель быстрой передачи.....	145
7.1.2. Переключатель сохранения и пересылки.....	146
7.1.3. Переключатель без фрагментов.....	146
7.1.4. Связующее дерево.....	147
7.1.5. Виртуальные локальные сети, VLAN.....	150
7.2. Маршрутизация.....	152
7.2.1. Маршрутизация – Как работает роутер?.....	154
7.2.2. Протоколы маршрутизации/динамическая маршрутизация.....	155
7.2.3. Проблема возрастания до бесконечности.....	155
7.2.4. Таблицы маршрутизации.....	156
7.2.5. Маршрутизируемые протоколы.....	157
7.2.6. Расчет сетевого адреса.....	158

7.2.7. Шлюз по умолчанию .....	162
7.2.8. NAT/PAT – перевод сетевых адресов/перевод портовых адресов .....	162
7.2.9. Маршрутизация прокси-сервера .....	164
7.2.10. Виртуальная частная сеть, VPN, IP-туннель .....	166
7.3. Проверка конфигурации IP-адреса .....	169
7.3.1. Проверка конфигурации IP на компьютерах с Windows .....	169
7.3.2. Проверка конфигурации IP на компьютерах с Linux/Unix .....	169
7.3.3. Проверка соединений .....	169
7.3.4. Проверка DNS (система имен доменов) .....	171
7.4. Упражнения к разделу «Переключение и маршрутизация» .....	172
<b>8. Технология передачи данных .....</b>	<b>175</b>
8.1. Эквивалентная принципиальная схема медного кабеля .....	175
8.2. Высокочастотное поведение линии .....	177
8.2.1. Ослабление сигнала .....	178
8.2.2. Время прохождения сигнала .....	179
8.2.3. Коэффициент сокращения $k$ или NVP (нотационная скорость распространения) .....	180
8.2.4. Отражение сигнала .....	180
8.2.5. Коэффициент отражения .....	182
8.2.6. Расчет длины кабеля .....	183
8.3. Волновое сопротивление $Z_w$ .....	183
8.3.1. Характеристическое сопротивление .....	184
8.3.2. Характеристическое сопротивление на практике .....	184
8.4. Конструкция медных кабелей .....	185
8.4.1. Коаксиальный кабель – несбалансированный кабель .....	186
8.4.2. Кабель витой пары – сбалансированный кабель .....	187
8.5. Демпфирование и перекрестные помехи .....	188
8.5.1. Логарифметрическое затухание в дБ .....	188
8.5.2. Перекрестные помехи .....	189
8.5.3. Соотношение сигнал/шум .....	191
8.5.4. Коэффициент затухания переходных помех ACR .....	191
8.5.5. Межкабельные наводки .....	191
8.5.6. Единица СИ .....	192
8.5.7. Абсолютные уровни .....	192
8.6. Методы модуляции .....	194
8.6.1. Амплитудная модуляция AM .....	194
8.6.2. Переключение амплитуды ASK .....	196
8.6.3. Частотная модуляция FM .....	196
8.6.4. Частотная манипуляция FSK .....	197
8.6.5. Фазовая модуляция PM и фазовая манипуляция PSK .....	197
8.6.6. Квадратурная амплитудная модуляция QAM .....	197
8.6.7. Спектральный коэффициент полезного действия .....	199
8.6.8. Теорема Шеннона – Хартли .....	199
8.6.9. Скорость передачи данных в бодах Bd .....	200
8.7. Кодирование .....	201
8.7.1. Код NRZ (кодирование без возвращения к нулю) .....	201
8.7.2. Код RZ, код с возвращением к нулю .....	203
8.7.3. Манчестерский код .....	204
8.7.4. Код AMI .....	204
8.7.5. Код MLT-3 .....	205
8.7.6. Блочные коды .....	205
8.7.7. Восстановление тактовой последовательности .....	208

---

8.8. Оптоволоконный кабель.....	209
8.8.1. Основы оптики .....	210
8.8.2. Распространение сигнала в оптоволоконном кабеле .....	213
8.8.3. Индексные профили .....	218
8.9. DSL.....	222
8.9.1. ADSL .....	222
8.9.2. DSL в настоящее время .....	224
8.10. Беспроводные сети, беспроводные локальные сети.....	226
8.10.1. Стандарты беспроводной локальной сети (WLAN).....	226
8.10.2. Режимы работы Wi-Fi .....	228
8.10.3. LiFi – световой доступ .....	229
8.11 Упражнения к разделу «Технология передачи данных» .....	230
<b>9. Управление сетью .....</b>	<b>233</b>
9.1. Характеристики системы.....	233
9.1.1. Создание базового плана.....	233
9.1.2. Сетевая отчетность .....	234
9.2. Доступность.....	236
9.3. Прогноз ошибок.....	238
9.3.1. Анализ дерева отказов.....	239
9.3.2. Матрица риска .....	242
9.3.3. Анализ ABC .....	243
<b>10. Приложение .....</b>	<b>245</b>
10.1. Органы по стандартизации .....	245
10.1.1. Стандартный протокол IEEE .....	245
10.1.2. Международная организация по стандартизации ISO .....	245
10.1.3 МЭК – Международная электротехническая комиссия .....	247
10.1.4 МСЭ – Международный союз электросвязи .....	247
10.1.5 Немецкий институт стандартизации DIN .....	247
10.2. Решения упражнений .....	248
10.3. Формулы .....	256
10.4. Таблицы .....	258
10.4.1. Децибел .....	258
10.4.2. TCP- и UDP-порты.....	258
10.4.3. Некоторые типы протоколов Ethernet .....	259
10.4.4. Числовые представления, двоичные и десятичные префиксы .....	259
10.5. Права на использование изображений.....	262



## 1 Основы компьютерных технологий

### 1.1. Об истории

Коммуникации на дальние расстояния имеют давнюю историю. Даже древние греки использовали оптическую передачу сигнала – еще в античные времена они практиковали передачу данных посредством факельных сигналов ночью. Римляне предпочитали письменную передачу сообщений. Даже тогда важные сообщения шифровались и кодировались, чтобы предотвратить их использование в случае попадания в чужие руки. Здесь следует отметить шифр **сцитала** и **код Цезаря**, которые применялись на протяжении веков.

К концу 18-го века были изобретены телеграфы с крыльями (рис. 1.1), а через некоторое время они соединили относительно большие расстояния. Крылья или флаги были прикреплены к мачте и могли перемещаться с помощью рычагов или тросов. В поле зрения семафора находилась другая телеграфная станция. С помощью подзорных труб они наблюдали друг за другом и передавали полученные сообщения на следующую станцию. В королевстве Пруссия было покрыто расстояние от Берлина до Кобленца длиной почти



**Рис. 1.1:** Телеграф во Флиттарде Кельна

550 км. Рейнская область тогда принадлежала Пруссии. Во Флиттарде Кельна находится последняя оставшаяся телеграфная станция этой линии, которая теперь открыта для публики как музей.

Передача из Берлина в Кобленц занимала всего несколько минут, так что даже в 7 часов вечера ежедневно из Берлина на Рейн отправлялся временной сигнал. Каждый день станции были задействованы в течение 6 часов.

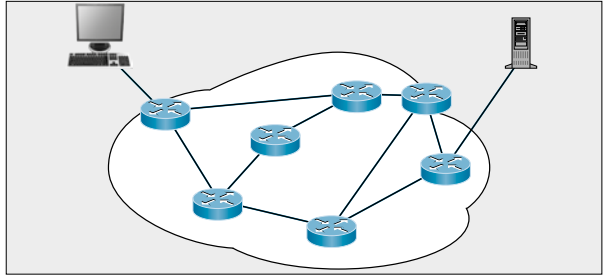
**Сцитала (сцитала):** обернутая вокруг цилиндрического предмета полоска, на которой производилась запись. Получателю требовался цилиндр такого же диаметра.

**Шифр Цезаря:** простой сдвиг, символ алфавита сдвигается на постоянное число позиций (напр.  $a \rightarrow c$ )

## 1.2. Повседневная жизнь сети

*ПК обращается к серверу через сеть*

Этот сценарий повторяется миллионы раз по всему миру: компьютер получает доступ к данным, хранящимся на другом компьютере. Компьютеры как-то связаны и где-то находятся (рис. 1.2). Как получить данные с одного компьютера на другой – это будет объяснено в следующем фрагменте текста.



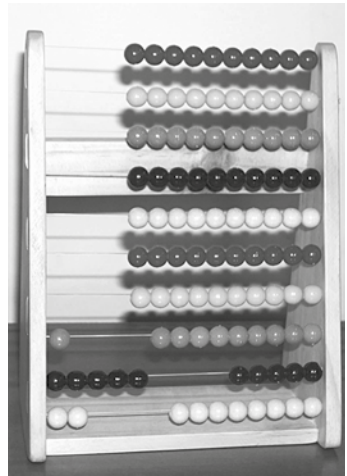
**Рис. 1.2:** Компьютеры в сети

Чтобы лучше понять сложность коммуникации и понять, почему некоторые вещи выглядят так, как они есть, нужно немного оглянуться назад на стадию развития, усвоить своего рода урок истории компьютерных технологий и компьютерных сетей.

*Механические вычисления 3000 лет назад: счеты абак*

## 1.3. Истоки: от счетной доски до вычислительного устройства компании ZUSE

Счеты **абак** (рис. 1.3) – древнее быстрое, эффективное устройство, которое может выполнять четыре наиболее важных арифметических действия: сложение, вычитание, умножение и деление. Конечно, разумная система счисления со значением разрядов является обязательным условием. Возможно, именно поэтому система счисления древних римлян больше не существуют, потому что у них не было системы значения разрядов и они не могли быстро и точно считать при помощи своей неповоротливой системы счисления. Число ноль также было им неизвестно. Говорят, что он был разработан в Тимбукту, городе на окраине Сахары. Умножение и деление или



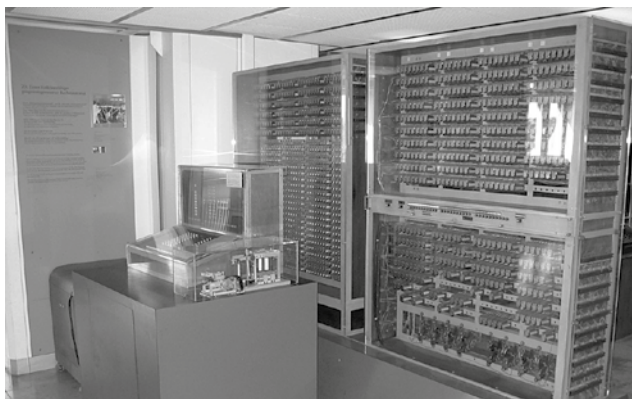
**Рис. 1.3:** Счеты

даже более сложные арифметические операции на счетах были чрезвычайно громоздкими и требовали определенного уровня практических навыков.

Человек уже давно создал инструменты для вычислений. В позднем Средневековье некоторые математики, астрономы, изобретатели и многосторонне одаренные умельцы пытались построить механические счетно-решающие машины, причем некоторые из них действительно работали. Француз **Блез Паскаль** (1623–1662) создал, возможно, первую механическую вычислительную машину в 1642 году.

В 30-х и 40-х годах XX века неоднократно предпринимались попытки производства вычислительных машин, которые смогли бы помочь зарождающейся электротехнике. Немец **Конрад Цузе** может считаться изобретателем первой программируемой вычислительной машины. Термин «программируемый» не означает, однако, что программа обрабатывается на языке высокого уровня, который мы знаем сегодня. Программируемый означает, что вычислительная машина может быть изменена посредством устройства коммутации/кабельной проводки с целью выполнения различных операций.

Первые вычислительные машины компании Zuse (рис. 1.4) были построены с помощью телекоммуникационных реле. Процесс вычисления был громким и отчетливо слышимым. Потребление энергии было огромным, а вычислительная мощность очень скромной по отношению к нынешним реалиям.



**Рис. 1.4:** Первая вычислительная машина Z3 компании ZUSE, 1941 г.

В то же время в Соединенных Штатах Америки некоторые компании также занимались этой темой. Компания IBM, в то время уже крупная корпорация, построившая империю печатных машинок, также занималась разработкой электрических вычислительных машин.

За электромеханическими счетными машинами последовали исключительно электронные устройства, которые обходились без механических компонентов. Вместо реле использовались

*1642 г.: **Блез Паскаль** создает первую вычислительную машину.*

#### **Конрад Цузе**

*1937 г.: первая механическая счетно-решающая машина  
1939 г.: первая электронномеханическая вычислительная машина с телекоммуникационными реле (Z2)*

*1955 г.: первая электронно-ламповая вычислительная машина*

*1964 г.: компания **IBM** выводит на рынок Германии первую электронно-ламповую вычислительную машину*

электронные трубки. Потребление энергии и выделяемое тепло были очень значительными, но машины стали более мощными, чем электромеханические предшественники. Прорыв наступил с изобретением транзистора. Эффективность увеличилась, тепловыделение снизилось.

#### 1.4. Сверхмощная вычислительная машина

*Многие «устройства отображения данных» подключены к главной вычислительной машине*

Транзисторные вычислительные машины становились мощнее и увеличивались в размерах. Для ввода и вывода данных все еще использовались перфорированные ленты (как на старых телетайпных устройствах), затем машины стали постепенно более интерактивными. Появились первые рабочие места для устройств визуального отображения. Человек может общаться с вычислительной машиной посредством клавиатуры и устройства отображения данных (монитор). Поскольку машины могли обрабатывать данные быстрее, чем их могли вводить люди, для рабочих мест по обслуживанию нескольких устройств визуального отображения были созданы каналы ввода-вывода.

Все люди работали на одной вычислительной машине, у которой имелось несколько окон для ввода и вывода данных. Такие вычислительные машины требовали очень больших площадей и значительных расходов. Операторы, системные администраторы были весьма уважаемыми специалистами и, как правило, находились на работе в белых халатах или костюмах с галстуками (рис. 1.5).



**Рис. 1.5:** Сверхмощная вычислительная машина IBM 704, ок. 1950 г.

#### 1.5. Первые персональные компьютеры

Прогрессивная миниатюризация электронных компонентов и непрерывное развитие интегральных микросхем обусловили появление к концу 70-х годов 20-го века большого количества компактных компьютеров, которые с учетом ценового фактора были пригодны также для личного пользования. Эти устройства в основном подключались к телевизорам. Небольшие микро-ЭВМ назывались «персональные вычислительные машины»