

А. И. КИТОВ и Н. А. КРИНИЦКИЙ

---

ЭЛЕКТРОННЫЕ  
ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ  
и  
ПРОГРАММИРОВАНИЕ

---



А. И. КИТОВ и Н. А. КРИНИЦКИЙ

# ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,  
СТЕРЕОТИПНОЕ

*Допущено Министерством  
высшего и среднего специального образования РСФСР  
в качестве учебного пособия  
для высших учебных заведений*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1961

## АННОТАЦИЯ

В книге А. И. Китова и Н. А. Криницкого «Электронные цифровые машины и программирование» излагаются арифметические, логические и технические принципы, лежащие в основе устройства быстродействующих вычислительных машин. Подробно дается современная методика программирования, богато иллюстрированная примерами программирования для серийной отечественной машины *Стрела*. Много внимания уделяется также особенностям программирования на серийных советских машинах *Урал* и *М-3*; приводятся примеры составления программ для этих машин. Книга написана доступно и просто и рассчитана на студентов университетов и вузов, а также на работников различных отраслей науки и промышленности, в которых может применяться новая вычислительная и управляющая техника. Книга может служить учебным пособием при подготовке кадров программистов.

*Китов Анатолий Иванович и Криницкий Николай Андреевич.*

Электронные цифровые машины и программирование.

Редактор М. М. Горячая.

Техн. редактор С. С. Гаврилов.

Корректор И. Л. Едская.

Печать с матриц. Подписано к печати 10/VII 1961 г. Бумага 60 × 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Физ. печ. л. 35,75. Условн. печ. л. 35,75. Уч.-изд. л. 36,72. Тираж 40 000 экз. Цена книги 1 р. 20 к. Заказ № 1982.

Государственное издательство физико-математической литературы.  
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова  
Московского городского совнархоза. Москва, Ж-54, Вадовая, 28.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                     | 9  |
| Введение . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                        | 11 |
| § 1. Основные этапы развития вычислительной техники . . . . .                                                                                                                                                                                                                             | 13 |
| 1. Вычислительные устройства непрерывного действия (13).                                                                                                                                                                                                                                  |    |
| 2. Цифровые вычислительные машины (16).                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| § 2. Общая структурная схема электронной цифровой машины и принцип программного управления . . . . .                                                                                                                                                                                      | 24 |
| 1. Структурная схема (24). 2. Принцип программного управления (27).                                                                                                                                                                                                                       |    |
| § 3. Применение электронных цифровых машин . . . . .                                                                                                                                                                                                                                      | 28 |
| 1. Применение для научных и технических исследований и разработок (28). 2. Применение для обработки информации (30).                                                                                                                                                                      |    |
| 3. Применение для автоматического управления производственными процессами (33).                                                                                                                                                                                                           |    |
| Г л а в а I                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
| АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН                                                                                                                                                                                                                                          |    |
| § 4. Позиционные системы счисления . . . . .                                                                                                                                                                                                                                              | 37 |
| 1. Римская система счисления (37). 2. Понятие позиционной системы счисления (37). 3. Восьмеричная позиционная система счисления (40). 4. Двоичная позиционная система счисления (43).                                                                                                     |    |
| 5. Другие позиционные системы счисления (43).                                                                                                                                                                                                                                             |    |
| § 5. Перевод чисел из одной позиционной системы счисления в другую . . . . .                                                                                                                                                                                                              | 45 |
| 1. Перевод целых чисел (45). 2. Перевод дробей (46). 3. Перевод из восьмеричной системы счисления в двоичную и обратно (48). 4. Двоично-десятичная запись чисел (49).                                                                                                                     |    |
| § 6. Ввод чисел в машину и запись их в памяти . . . . .                                                                                                                                                                                                                                   | 50 |
| 1. Запись чисел на перфокартах (50). 2. Запись чисел в ячейках памяти машины с фиксированной запятой (52). 3. Запись чисел в ячейках памяти машины с плавающей запятой (56).                                                                                                              |    |
| 4. Диапазон чисел, представимых в ячейках памяти машины (60).                                                                                                                                                                                                                             |    |
| 5. Прямой код (62).                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
| § 7. Двоичные сумматоры и операции над положительными числами, выполняемые с их помощью . . . . .                                                                                                                                                                                         | 63 |
| 1. Одноразрядный двоичный сумматор (63). 2. Многоразрядный двоичный сумматор (64). 3. Операции над положительными числами, выполняемые на сумматоре без переноса из старшего разряда (65). 4. Операции над положительными числами, выполняемые на сумматоре с циклическим переносом (66). |    |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| § 8. Алгебраическое сложение в дополнительном коде . . . . .                                                                | 67 |
| 1. Дополнительный код (67). 2. Модифицированный дополнительный код (74).                                                    |    |
| § 9. Алгебраическое сложение в обратном коде . . . . .                                                                      |    |
| 1. Обратный код (78). 2. Модифицированный обратный код (86).                                                                |    |
| § 10. Сложение и вычитание нормализованных чисел. Умножение и деление в машинах с фиксированной и с плавающей запятой . . . | 90 |
| 1. Сложение и вычитание чисел в машинах с плавающей запятой (90). 2. Умножение и деление чисел в машинах (93).              |    |

## Глава II

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА И ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

|                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 11. Начальные сведения из алгебры логики . . . . .                                                                                                                                                                                      | 96  |
| 1. Понятие высказывания и его значения истинности (96). 2. Сложные высказывания. Логические связи. Логические операции (99). 3. Геометрическое толкование алгебро-логических операций (104). 4. Связи между логическими операциями (105). |     |
| § 12. Преобразование логических выражений . . . . .                                                                                                                                                                                       | 107 |
| 1. Нормальные формы логических выражений (107). 2. Постоянно-истинные и постоянно-ложные выражения (108). 3. Многообразие сложных логических выражений (109). 4. Преобразование логических выражений (110).                               |     |
| § 13. Переключаемые (нелинейные) элементы электронных схем . . .                                                                                                                                                                          | 113 |
| 1. Электронные лампы (114). 2. Полупроводниковые диоды и триоды (116). 3. Магнитные сердечники (122).                                                                                                                                     |     |
| § 14. Электронные схемы для основных логических операций . . . .                                                                                                                                                                          | 125 |
| 1. Логические схемы на электронных лампах и полупроводниковых диодах (125). 2. Логические схемы на полупроводниковых триодах (129). 3. Логические схемы на магнитных сердечниках (132).                                                   |     |
| § 15. Комбинированные электронные логические схемы . . . . .                                                                                                                                                                              | 134 |
| 1. Двойной вентиль (134). 2. Одноразрядный преобразователь (135). 3. Избирательная схема (135). 4. Схема сдвигателя (137).                                                                                                                |     |
| § 16. Синтез избирательных логических схем . . . . .                                                                                                                                                                                      | 139 |
| 1. Первый пример (140). 2. Второй пример (142). 3. Третий пример (143).                                                                                                                                                                   |     |
| § 17. Синтез одноразрядных двоичных сумматоров . . . . .                                                                                                                                                                                  | 143 |
| 1. Одноразрядный двоичный сумматор на два входа (143). 2. Одноразрядный двоичный сумматор на три входа (146).                                                                                                                             |     |

## Глава III

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 18. Принципы построения и типы машин . . . . .                                                                          | 150 |
| 1. Машины параллельного и последовательного действия. Фиксированная и плавающая запятая (150). 2. Адресность машин (151). |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 19. Устройство управления машины . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 153 |
| 1. Назначение и состав устройства управления машины (153).<br>2. Порядок работы устройства управления (153). 3. Выполнение<br>условных переходов (159).                                                                                                                                                                             |     |
| § 20. Арифметические устройства . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 159 |
| 1. Сумматоры параллельного действия (160). 2. Сумматоры<br>последовательного действия (164). 3. Устройство для сложения и<br>вычитания чисел с плавающей запятой (166). 4. Множительные<br>устройства. (168)                                                                                                                        |     |
| § 21. Запоминающие устройства . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 171 |
| 1. Перфоленты и перфокарты (171). 2. Электромеханические<br>и электронные реле (172). 3. Линии задержки (173). 4. Магнитные<br>барабаны и ленты (176). 5. Электронно-лучевые запоминающие<br>системы (179). 6. Запоминающее устройство на магнитных сердеч-<br>никах (183). 7. Ферроэлектрические запоминающие устройства<br>(186). |     |
| § 22. Основные образцы советских электронных цифровых вычисли-<br>тельных машин . . . . .                                                                                                                                                                                                                                           | 187 |
| 1. Машина БЭСМ (187). 2. Машина <i>Стрела</i> (190). 3. Машина<br><i>Урал</i> (197). 4. Машина <i>М-3</i> (200).                                                                                                                                                                                                                    |     |

## Глава IV

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 23. Общие тенденции развития . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 202 |
| 1. Машины для математических вычислений (202). 2. Машины<br>для обработки информации (207). 3. Машины для автоматиче-<br>ского управления (211).                                                                                                                                                                                           |     |
| § 24. Разработка новых принципов построения и усовершенствование<br>конструкции электронных цифровых машин . . . . .                                                                                                                                                                                                                       | 213 |
| 1. Повышение быстродействия машин (213). 2. Применение<br>индексных регистров (216). 3. Применение принципа микропрогра-<br>много управления и повышение гибкости структуры машин (216).<br>4. Усовершенствование конструкции и технологии производства<br>машин (220). 5. Разработка быстродействующих устройств ввода<br>и вывода (222). |     |
| § 25. Разработка новых элементов . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 224 |
| 1. Ферромагнитные элементы (225). 2. Полупроводниковые<br>приборы (227). 3. Разработка новых переключательных и запоми-<br>нающих элементов (228).                                                                                                                                                                                         |     |

## Глава V

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ МАШИН *СТРЕЛА*,  
*М-3* и *УРАЛ*

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 26. Порядок выполнения команд . . . . .                                                                                                                                        | 231 |
| 1. Машины с естественным порядком выполнения команд (231).<br>2. Машины с принудительным порядком выполнения команд (233).<br>3. «Чтение» машиной содержимого ячейки (235).      |     |
| § 27. Общая характеристика машины <i>Стрела</i> . . . . .                                                                                                                        | 236 |
| 1. Запись чисел в ячейках памяти (236). 2. Структура команд<br>и их запись (238). 3. Ввод программы в память машины (241).<br>4. Автоматическое управление работой машины (243). |     |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 28. Система операций и команд машины <i>Стрела</i> . . . . .                                                                                                                         | 241 |
| 1. Таблица команд и операций (244). 2. Пояснение некоторых команд (260). 3. Константы, хранящиеся в УВК (271).                                                                         |     |
| § 29. Сведения о машине <i>М-3</i> , необходимые для программирования . .                                                                                                              | 272 |
| 1. Запись чисел в ячейках памяти (272). 2. Структура команд и их запись (274). 3. Ввод программы в память машины и вывод результатов (275). 4. Система операций и команд машины (276). |     |
| § 30. Сведения о машине <i>Урал</i> , необходимые для программирования                                                                                                                 | 280 |
| 1. Запись чисел в ячейках памяти (280). 2. Структура команд (282). 3. Основные особенности машины (283). 4. Система операций и команд машины <i>Урал</i> (285).                        |     |

## Глава VI

## ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

|                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 31. Непосредственное программирование . . . . .                                                                                                                                                                     | 292 |
| 1. Общие указания (292). 2. Пример составления программы (293). 3. Разветвляющиеся программы (298).                                                                                                                   |     |
| § 32. Операторное программирование . . . . .                                                                                                                                                                          | 305 |
| 1. Логические схемы программ (305). 2. Свойства операторов (308). 3. Правила начертания логических схем программ (310). 4. Примеры операторного программирования (313).                                               |     |
| § 33. Циклические программы . . . . .                                                                                                                                                                                 | 319 |
| 1. Итерационный цикл (320). 2. Цикл с переадресацией (322). 3. Цикл с переадресацией и восстановлением (326).                                                                                                         |     |
| § 34. Способы управления повторениями цикла . . . . .                                                                                                                                                                 | 332 |
| 1. Оператор управления повторениями цикла (332). 2. Счетчик повторений цикла (336). 3. Цикл, повторяющийся пока монотонно изменяющаяся величина не перейдет через заданное значение (341). 4. Логические шкалы (342). |     |
| § 35. Некоторые общие приемы операторного программирования . . . .                                                                                                                                                    | 345 |
| 1. Стандартные ячейки (345). 2. Операторы-подпрограммы (347). 3. Циркуляция величин в стандартных ячейках (353). 4. Операторы формирования (355).                                                                     |     |
| § 36. Программирование для машин с фиксированной запятой . . . . .                                                                                                                                                    | 357 |
| 1. Программирование для одноадресной машины (357). 2. Программирование для двухадресной машины (365).                                                                                                                 |     |

## Глава VII

## МЕТОДЫ РУЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

|                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 37. Порядок работы при ручном программировании . . . . .                                                                                                                                                    | 367 |
| 1. Параметрически заданная схема счета (367). 2. Составление логической схемы (369). 3. Распределение памяти и составление программы (374).                                                                   |     |
| § 38. Метод библиотечных подпрограмм . . . . .                                                                                                                                                                | 376 |
| 1. Библиотечные подпрограммы (376). 2. Стандартные подпрограммы. 3. Пример открытой библиотечной подпрограммы (377). 4. Автоматизация метода библиотечных подпрограмм (381). 5. Объединяющая программа (384). |     |
| § 39. Автоматизация отдельных работ при ручном программировании                                                                                                                                               | 386 |
| 1. Автоматизация присвоения действительных адресов (386). 2. Автоматизация исправлений некоторых ошибок, обнаруженных в программе (388). 3. Программа ВУЗП (389).                                             |     |

## Г л а в а VIII

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ЭЛЕКТРОННЫХ  
ЦИФРОВЫХ МАШИНАХ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 40. Методы контроля . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 394 |
| 1. Проверка программы и контроль правильности ее ввода (395). 2. Отладка программы (399). 3. Контроль правильности работы машины (400). 4. Контроль правильности вычислений (403).                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
| § 41. Организация программы . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 405 |
| 1. Основные понятия и обозначения (405). 2. Примеры схем организации программ (407).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
| § 42. Выбор численного метода . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 408 |
| 1. Погрешность вычислений (409). 2. Связность алгоритма (411). 3. Учет стоимости и затрат времени (412).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
| § 43. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 413 |
| 1. Датчики случайных чисел (414). 2. Неравенство Чебышева (415). 3. Вычисление интеграла с помощью специально выбранного датчика (416). 4. Вычисление простых и кратных интегралов с помощью стандартного датчика (416). 5. Вычисление значений функции по ее обратной функции и решение уравнений (420). 6. Преобразование потока случайных чисел (421). 7. Теоретико-вероятностное моделирование (423). 8. Погрешности при решении задач (423). 9. Преимущества метода (426). |     |
| § 44. Способы задания и вычисления значений функций . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 427 |
| 1. Выбор способа задания функции (427). 2. Аналитическое задание функции (428). 3. Задание функции с помощью дифференциального уравнения (430). 4. Способ аппроксимирующих многочленов (430). 5. Табличное задание функции (431).                                                                                                                                                                                                                                               |     |
| § 45. Способы выбора значений функции из малых таблиц . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 432 |
| 1. Регулярные таблицы (432). 2. Нерегулярные таблицы. Способ перебора (433). 3. Почти регулярные таблицы (434). 4. Способ двухстепенного перебора (437). 5. Способ деления «пополам» (440). 6. Способ скользящего начала (конца) таблицы (441). 7. Способы «плотного» размещения таблиц в памяти (441). 8. Примеры подпрограмм для выбора значений функции из таблицы (445).                                                                                                    |     |

## Г л а в а IX

## ФОРМАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОГРАММ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 46. Основные понятия . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                           | 452 |
| 1. Обозначения и простейшие формулы (452). 2. Основные логические переменные (455). 3. Распределение сдвигов схемы (459). 4. Выполнение схемы по заданной последовательности наборов значений основных логических переменных (460). 5. Значение схемы (462). 6. Равносильность схем (464). |     |
| § 47. Преобразование логических связей в схемах . . . . .                                                                                                                                                                                                                                  | 465 |
| 1. Подчиненность оператора логической функции (465). 2. Равносильность логических функций (468). 3. Исключение знаков логических связей (469).                                                                                                                                             |     |

- § 48. Преобразование логических схем . . . . . 472  
 1. Преобразование стрелок (472). 2. Перестановка операторов (474). 3. Исключение операторов (474). 4. Логические операторы, проверяющие значения тождественно постоянных логических функций (475). 5. Примеры преобразования схем (477).

## Г л а в а X

## ПРОГРАММИРУЮЩИЕ ПРОГРАММЫ

- § 49. Операторное автоматическое программирование и ПП-С . . . . . 482  
 1. Сущность операторного автоматического программирования (482). 2. Способ кодировки информации для ПП-С (484). 3. Вид команд, составляемых ПП-С (489). 4. Нестандартное программирование (491). 5. Организация программирующей программы ПП-С (495).
- § 50. Подготовка к кодировке информации для ПП-С . . . . . 497  
 1. Составление задания для кодировщиков (497). 2. Пример подготовки информации к кодировке (505).
- § 51. Кодировка информации для ПП-С . . . . . 510  
 1. Первый массив информации (512). 2. Второй массив информации (516). 3. Третий массив информации (517). 4. Подготовка данных для ввода информации в память машины (519). 5. Пример кодировки информации для ПП-С (519).
- § 52. Эксплуатация программирующей программы ПП-С . . . . . 522  
 1. Запись ПП-С на магнитную ленту (522). 2. Ввод информации (522). 3. Пуск ПП-С (522). 4. Результаты, выдаваемые ПП-С (523). 5. Работа с ПП-С в случае нестандартного распределения памяти (524).
- § 53. Краткое описание работы блоков ПП-С . . . . . 525  
 1. Блок *K* (525). 2. Блок *A'* (526). 3. Блок *P'* (527). 4. Блок *A* (530). 5. Блок *P* (532). 6. Блок *C* (537). 7. Блок *F* (538). 8. Блок *Э* (541). 9. Блок *O* (542). 10. Блок *П* (543).

## Г л а в а XI

НЕАРИФМЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ  
ЦИФРОВЫХ МАШИН

- § 54. Машинный перевод . . . . . 546  
 1. Опыт перевода с русского языка на английский на машине ИБМ-701 (548). 2. Опыт перевода с английского языка на русский на машине БЭСМ (552). 3. Опыт перевода с французского языка на русский с помощью машины *Стрела* (555).
- § 55. Машинная игра . . . . . 559  
 1. Машины типа «словарь» (560). 2. Машины, реализующие строго определенные правила игры (560). 3. Машины, использующие общие принципы оценки положений (560). 4. Машины, накапливающие «опыт» (561). 5. Машины, играющие в шахматы (561). 6. Имитация условного рефлекса (565).
- Л и т е р а т у р а . . . . . 568  
 П р е д м е т н ы й у к а з а т е л ь . . . . . 570

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга была задумана как второе издание книги А. И. Китова, Н. А. Криницкого, П. Н. Комолова «Элементы программирования», выпущенной в 1956 г. издательством Артиллерийской инженерной академии им. Дзержинского. Однако значительный прогресс в области электронной вычислительной техники и теории программирования и стремление авторов создать книгу, по возможности соответствующую уровню развития этих областей, привели фактически к тому, что была написана новая книга. В нее вошли новые разделы, посвященные принципам построения электронных цифровых машин, вопросам преобразования логических схем программ, вопросам автоматизации программирования. Значительно расширены и другие разделы книги, в частности, кроме описаний одноадресной машины *Урал* и трехадресной машины *Стрела*, в книгу включено описание двухадресной машины *М-3* и краткие сведения о машине *БЭСМ*.

Основные идеи теории и методики программирования излагаются с таким расчетом, чтобы ими можно было воспользоваться при программировании для различных цифровых машин, хотя почти все примеры приведены применительно к конкретной машине *Стрела*.

Сведения об устройстве машин изложены в минимальном объеме, необходимом для уяснения принципов функционирования машин, без чего невозможен сознательный подход к вопросам программирования и, особенно, исследовательская работа в этой области.

Для правильного понимания возможностей электронных цифровых машин и областей их применения важно также иметь представление о современном уровне и перспективах развития этой техники, для чего введены соответствующие разделы.

В книге частично использованы материалы из книги А. И. Китова «Электронные цифровые машины», изданной в 1956 г. издательством

«Советское радио», а также современные отечественные и иностранные материалы. Введение и главы II—IV и XI написаны А. И. Китовым, главы I, V—X написаны Н. А. Криницким.

Авторы пользуются случаем выразить глубокую признательность академику С. Л. Соболеву и всему коллективу кафедры вычислительной математики Московского государственного университета имени Ломоносова, обсуждавшему проспект книги и давшему ряд ценных рекомендаций, В. Д. Розенкнопу, сообщившему ряд данных о машине М-3 и просмотревшему соответствующую часть текста, Ю. И. Янову, давшему ряд ценных советов по разделу о преобразованиях логических схем программ; авторы глубоко признательны также В. Б. Орлову и М. М. Горячей, редактировавшим книгу и давшим ряд ценных советов не только по структуре книги, но и по ее содержанию.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

Создание быстродействующих электронных вычислительных машин представляет собой одно из выдающихся достижений научной и технической мысли середины двадцатого столетия. В течение короткого времени эти машины совершили бурный скачок в своем развитии от первых громоздких мало надежных моделей до современных высокопроизводительных машин и получили широкое признание и применение.

Масштабы и темпы работ в области электронной вычислительной техники можно сравнить только с масштабами и темпами работ в области атомной энергии и реактивной техники.

Современные электронные вычислительные машины выполняют десятки тысяч арифметических действий в секунду, оперируют с огромным количеством данных (миллионы чисел) и позволяют в короткие сроки, измеряемые часами и минутами, решать сложнейшие задачи, на которые при ручных вычислениях потребовались бы годы работы.

Помимо вычислительной работы, электронные вычислительные машины имеют важнейшее непосредственное применение в технике в качестве управляющих органов в сложных автоматических системах. Эти системы могут представлять собой как отдельные агрегаты, станки, так и целые комплексы, транспортные системы, автоматические заводы, электростанции, системы военного назначения.

Электронные вычислительные машины используются везде, где необходимо выполнять в большом объеме однообразную умственную работу по определенным правилам или, как говорят, по определенным алгоритмам.

*Алгоритмом* называется система формальных правил, четко и однозначно определяющих процесс выполнения заданной работы.

Во всех областях умственной деятельности людей существует чрезвычайно большое количество разнообразных процессов, которые выполняются по строго определенным правилам. Так, например, в банковском деле или в статистике обработка поступающих материалов и их анализ производятся по строго определенным правилам, которые могут быть описаны в виде алгоритма. Аналогичное положение имеет место и при расчете заработной платы,

определении стоимости изделий, планировании производства или снабжения и т. д.

Во многих случаях такие алгоритмы еще не созданы или не описаны только потому, что в этом не было пока практической необходимости, но при желании требуемые алгоритмы могут быть сформулированы с затратой большего или меньшего труда.

Когда скоро тот или иной вид умственной работы представлен в виде алгоритма, появляется возможность автоматизировать его выполнение с помощью электронных цифровых машин.

Если раньше задачи технического прогресса концентрировались в основном вокруг проблем замены физического труда человека работой машин (развитие средств производства, передвижения, связи, наблюдения и измерения и т. д.), то середина XX века ознаменовалась бурным развитием средств механизации умственного труда, и, несомненно, прогресс в этом направлении приведет к быстрому общему прогрессу во всех сферах человеческой деятельности.

Первая промышленная революция, которая началась более двухсот лет тому назад изобретением ткацких машин, привела к замене человеческих рук машинами почти во всех областях производства и вызвала колоссальный подъем производительности труда.

Сейчас мы переживаем вторую промышленную революцию, заключающуюся в применении машин для выполнения различных видов умственной работы людей, и последствия этой революции для дальнейшего развития человеческого общества в настоящее время даже трудно себе представить.

Следует заметить, что появление электронных цифровых вычислительных машин имеет большое значение и для развития комплекса биологических наук, и в первую очередь для изучения процессов высшей нервной деятельности, так как с помощью этих машин представляется возможным создать модели отдельных элементарных процессов работы нервной системы и процессов мышления и тем самым ближе подойти к раскрытию закономерностей в этой области.

Одной из важных особенностей техники электронных вычислительных машин является то, что в ней сочетается большой комплекс различных областей современной науки и техники, таких, как математический численный анализ, математическая логика, электроника, импульсная техника, физика полупроводников; она использует достижения этих областей и стимулирует их дальнейшее развитие.

Значение электронных вычислительных машин для коммунистического строительства в нашей стране трудно переоценить.

Широкое применение электронных вычислительных машин в нашей стране должно обеспечить резкий подъем советской науки и техники на новую более высокую ступень. Применение электронных машин для автоматического управления производственными процессами приведет к значительному повышению производительности

труда, улучшению качества продукции и экономии материалов и энергии. В отличие от капиталистического общества, где внедрение электронных автоматических устройств влечет за собой увольнение трудящихся и ухудшение условий их жизни, в социалистическом обществе электронная автоматика и в том числе электронные вычислительные машины облегчают условия труда людей, освобождают их от наиболее трудоемкой, утомительной и однообразной умственной работы и способствуют, в конечном счете, повышению материального благосостояния трудящихся.

В нашей стране электронные машины находят применение для автоматического управления производственными процессами, представляющими опасность для здоровья и жизни людей, как, например, в некоторых видах химической промышленности.

Важной областью будущего применения электронных цифровых машин является механизация и автоматизация процессов административно-хозяйственного управления, вплоть до государственного планирования, учета и контроля.

В тезисах доклада Н. С. Хрущева на 21 съезде КПСС отмечается большое значение электронной вычислительной техники и необходимость ее широкого развития. Указывается, что «переход к комплексной механизации и автоматически управляемому производству с применением средств электронной техники составляет наиболее характерную черту современного технического прогресса... Широкие перспективы в области автоматизации производственных процессов открывают достижения вычислительной техники. Применение современных вычислительных машин для управления производственными процессами позволяет автоматически выбирать и вести технологический процесс на наивыгоднейшем режиме... Успехи вычислительной математики имеют непосредственную связь с развитием автоматики».

Партия и правительство уделяют большое внимание развитию электронной вычислительной техники и ее применению в различных областях науки, техники и экономики.

## § 1. Основные этапы развития вычислительной техники

Усилия ученых и инженеров были с давних пор направлены на изыскание путей, облегчающих решение задач, требующих больших вычислений, на создание средств для механизации этой утомительной работы.

Вычислительная техника развивалась в двух направлениях — по пути создания 1) вычислительных машин и приборов непрерывного действия и 2) вычислительных машин и приборов дискретного счета или цифровых.

**1. Вычислительные устройства непрерывного действия.** В вычислительных машинах *непрерывного действия* математические

величины изображаются в виде непрерывных значений каких-либо физических величин (длин, углов, напряжений и т. д.).

Примерами вычислительных устройств непрерывного действия являются обычная логарифмическая линейка и различные механические приборы: планиметры, интеграфы, интегриметры и др.

Для вычислительных устройств непрерывного действия точность вычислений ограничивается качеством изготовления отдельных узлов и принятыми допусками и доходит в лучших случаях до трех-четырех верных значащих цифр результата. Существенное повышение точности решения встречает непреодолимые технологические и эксплуатационные трудности. Это является принципиальным недостатком машин непрерывного действия и не имеет места в машинах дискретного счета.

Вычислительные машины непрерывного действия конструктивно состоят из целого ряда отдельных блоков, каждый из которых служит для выполнения одной какой-либо математической операции (сложения, вычитания, умножения, деления, интегрирования, образования заданной функции и т. д.). Эти блоки соединяются между собой в последовательности, отвечающей конкретному виду решаемого уравнения. Если вычислительная машина предназначена для решения только одного вида уравнений, то состав математических устройств машины и их соединение между собой постоянны. Такие машины являются узко специализированными. В качестве примера узко специализированной вычислительной машины непрерывного действия можно привести известные приборы управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО).

При создании вычислительных машин непрерывного действия их стараются обычно сделать достаточно гибкими, позволяющими решать сравнительно широкий круг задач. С этой целью в машинах предусматривается возможность изменения как состава математических устройств, участвующих в решении задачи, так и порядка соединения этих устройств.

Любая задача на вычислительной машине непрерывного действия решается таким образом, что в необходимый момент времени на всех устройствах машины, участвующих в решении задачи, производятся одновременно все требуемые уравнением математические преобразования, соответствующие текущему значению независимого переменного. Отсюда ясно, что тип и сложность математических задач, которые могут быть решены на машине непрерывного действия, ограничены наличным составом оборудования машины.

Таким образом, все вычислительные машины непрерывного действия являются более или менее специализированными машинами.

Наиболее важным классом машин непрерывного действия являются электронные машины, предназначенные для интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Эти машины называются электронными интеграторами или электронными моделирующими установками. Последнее название объясняется тем, что с помощью этих установок воспроизводятся математические зависимости, описывающие (моделирующие) движение различных динамических систем.

В электронинтеграторах математические действия осуществляются с помощью электрических решающих схем, а участвующие в решении задачи величины изображаются в виде напряжений.

Электронные интеграторы относятся к числу современных быстродействующих математических машин.

Весьма большое значение для отработки различных систем автоматического управления и регулирования движущихся объектов приобрел в последние годы метод моделирования путем сочетания реального образца аппаратуры управления объектом с интегрирующей машиной. Интегрирующая машина в данном случае заменяет собой движущийся управляемый объект. Она решает уравнения движения объекта и подает в аппаратуру управления электрические сигналы, характеризующие движение объекта: скорость, ускорение, характеристики колебательного движения и т. д. Таким образом, аппаратура управления получает от интегрирующей машины такие же сигналы, какие она получала бы от измерительных элементов, определяющих положение объекта во время реального движения. На основе сигналов о положении объекта аппаратура управления вырабатывает управляющие сигналы, которые подаются в качестве дополнительных входных данных в интегрирующую машину для решения уравнений движения. Таким образом, в лабораторной обстановке создаются условия для экспериментальной проверки и отработки любой аппаратуры управления движущимися объектами. Этот метод имеет большое значение, в частности, при отработке систем управления реактивных снарядов, самолетных автопилотов и других объектов.

Ясно, что создать реальные условия для работы аппаратуры управления можно только в том случае, если сигналы о движении объекта, вырабатываемые интегрирующей машиной, поступают в аппаратуру управления в естественном темпе времени. Для этого интегрирующая машина при решении уравнений движения использует в качестве независимого переменного текущее время. Это в свою очередь требует, чтобы машина решала достаточно быстро уравнения движения для кратковременных процессов. Принципиальной особенностью электронинтеграторов является то, что они имеют в качестве независимой переменной текущее время, в частности, и при решении дифференциальных уравнений, описывающих быстро протекающие процессы. Таким образом, моделирование уравнений

движения путем сочетания математических машин с реальной аппаратурой управления объектами представляет собой такую область применения электроинтеграторов, в которой они пока еще не могут быть успешно заменены другими типами вычислительных машин.

Кроме того, к достоинствам электроинтеграторов относят сравнительную простоту конструкции, невысокую стоимость изготовления, компактность устройства.

Помимо моделирования, электроинтеграторы успешно применяются в различных научно-исследовательских учреждениях, в конструкторских бюро и на заводах для быстрых прикидочных инженерных расчетов, не требующих большой точности, и для качественного исследования различных дифференциальных уравнений.

**2. Цифровые вычислительные машины.** Рассмотрим второе направление в развитии вычислительной техники — развитие **цифровых** вычислительных машин и приборов. Известным примером этого типа устройств является арифмометр. Сюда же относятся различные ручные счетно-клавишные машины.

На арифмометре и ручных счетно-клавишных машинах производится только арифметические действия, но, используя широко разработанные численные методы математики, можно с помощью этих машин решать самые разнообразные математические задачи.

В цифровых машинах числа представляются в виде последовательности цифр, переменные величины — в виде последовательности их значений. Для изображения каждой цифры применяется какой-либо прибор (элемент), который может находиться в одном из нескольких резко разграниченных между собой состояний. Каждому состоянию элемента поставлена в соответствие определенная цифра. Для изображения числа служит набор таких элементов. Решение задачи сводится к выполнению отдельных арифметических действий над исходными числами. Поэтому цифровые машины часто называются также *машинами дискретного счета*.

Основными преимуществами цифровых вычислительных устройств перед математическими устройствами непрерывного действия являются значительно большая точность вычислений и универсальность.

Создать вычислительную машину непрерывного действия, дающую результаты решений с большей точностью, чем достижимая в настоящее время точность изготовления устройств, входящих в ее состав, — невозможно. Напротив, при создании цифровой вычислительной машины всегда можно обеспечить любую заданную точность ее работы, что достигается включением в ее состав достаточного количества элементов, изображающих разряды чисел. При этом требования к точности изготовления и стабильности работы самих элементов не повышаются. Достаточно, чтобы эти элементы —