

*А. В. Каляев*

**ВВЕДЕНИЕ**

**В ТЕОРИЮ**

**ЦИФРОВЫХ**

**ИНТЕГРАТОРОВ**

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ

621.97

К 17

А. В. КАЛЯЕВ

# ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАТОРОВ

БИБЛИОТЕКА (У)  
ТАГАНРОГСКИЙ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИИТ

КИЕВ



1964

В книге изложены вопросы теории цифровых интеграторов, являющихся основными узлами цифровых интегрирующих машин. Рассмотрены общие методы анализа процесса численного интегрирования в цифровых интеграторах. Полученные результаты положены в основу синтеза алгоритмов цифровых интегрирующих, дифференцирующих, множительных, делительных и суммирующих блоков, оперирующих с потоками приращений. Исследованы погрешности цифровых интегрирующих устройств. Изложены принципы построения функциональных схем цифровых интеграторов.

Книга может быть использована научными работниками и инженерами, занимающимися вопросами теории, конструирования и применения цифровых аналоговых вычислительных машин, а также аспирантами и студентами, специализирующимися в области вычислительной техники.

Ответственный редактор  
член-корреспондент АН УССР Г. Е. ПУХОВ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>Глава I.</b> Цифровые аналоговые вычислительные машины . . . . .	5
§ 1. Основные классы вычислительных машин . . . . .	5
§ 2. Электронные цифровые интегрирующие машины . . . . .	7
§ 3. Области применения и перспективы развития цифровых интегрирующих машин . . . . .	8
§ 4. Принципы построения и типы цифровых аналоговых вычислительных машин . . . . .	13
§ 5. О повышении скорости работы и о расширении логических возможностей цифровых интегрирующих машин . . . . .	20
§ 6. Узлы цифровых интегрирующих машин и особенности их построения . . . . .	23
§ 7. Процесс численного интегрирования в цифровых интегрирующих машинах и методы его реализации . . . . .	25
§ 8. Цифровые интеграторы, как основные элементы цифровых аналоговых вычислительных машин . . . . .	34
§ 9. Основные задачи анализа и синтеза цифровых интеграторов . . . . .	38
<b>Глава II.</b> Численные методы интегрирования в цифровых интеграторах . . . . .	40
§ 1. Проблема численного интегрирования в цифровых интеграторах в целом . . . . .	40
§ 2. Метод прямоугольников . . . . .	41
§ 3. Метод трапеций . . . . .	45
§ 4. Метод парабол . . . . .	47
§ 5. Сравнение формул прямоугольников, трапеций и парабол . . . . .	51
§ 6. Квантование независимой переменной, интегрируемой функции и интеграла . . . . .	53
§ 7. Особенности интегрирования квантованных функций и образование квантов интеграла . . . . .	58
§ 8. Общие принципы анализа процесса численного интегрирования в цифровых интеграторах . . . . .	65
§ 9. Формулы для вычисления приращения интеграла . . . . .	76
§ 10. Анализ процесса численного интегрирования в цифровых интеграторах, работающих с большими приращениями . . . . .	78
§ 11. Анализ процесса численного интегрирования в цифровых интеграторах, работающих с малыми приращениями . . . . .	85
<b>Глава III.</b> Квантование величин в цифровых интеграторах и дельта-преобразование непрерывных функций . . . . .	95
§ 1. Общие замечания . . . . .	95
§ 2. Элементарные дискретные функции . . . . .	96

§ 3.	Функция расчленения и ее основные свойства . . . . .	100
§ 4.	Системы квантования непрерывных функций . . . . .	105
§ 5.	О восстановлении квантуемой функции по точкам квантования . . . . .	108
§ 6.	Понятие о квантованных функциях . . . . .	109
§ 7.	Функциональная связь между квантуемыми и квантованными функциями . . . . .	116
§ 8.	Алгоритмы точек квантования . . . . .	119
§ 9.	Преобразование квантованных функций в потоки приращений (дельта-преобразование) . . . . .	124
§ 10.	Алгоритмы преобразования непрерывных функций в потоки приращений . . . . .	128
§ 11.	Полоса неопределенности при задании непрерывной функции потоком приращений в случае полного квантования . . . . .	136
<i>Глава IV. Алгоритмы цифровых интеграторов . . . . .</i>		139
§ 1.	Алгоритмы цифровых интеграторов при интегрировании по Риману . . . . .	139
§ 2.	Оптимальный алгоритм цифрового интегратора при интегрировании по Стилтесу в случае больших приращений . . . . .	150
§ 3.	Оптимальный алгоритм цифрового интегратора при интегрировании по Стилтесу в случае малых приращений . . . . .	156
§ 4.	Обобщенный оптимальный алгоритм цифрового интегратора . . . . .	170
§ 5.	Алгоритм инкрементного цифрового интегратора . . . . .	171
<i>Глава V. Последовательные и параллельные цифровые интеграторы . . . . .</i>		174
§ 1.	Последовательные цифровые интеграторы, основанные на формуле прямоугольников . . . . .	174
§ 2.	Последовательные цифровые интеграторы, построенные на основе формулы трапеций . . . . .	178
§ 3.	Последовательные цифровые интеграторы, построенные на основе формулы четных ординат . . . . .	183
§ 4.	Последовательные цифровые интеграторы, работающие с большими приращениями . . . . .	188
§ 5.	Параллельные цифровые интеграторы, основанные на формуле прямоугольников . . . . .	191
§ 6.	Параллельные цифровые интеграторы, основанные на формуле трапеций . . . . .	194
§ 7.	Параллельные цифровые интеграторы, основанные на формуле средних ординат . . . . .	196
<i>Глава VI. Кодирование чисел и приращений в цифровых интеграторах . . . . .</i>		199
§ 1.	Бинарная и тернарная системы приращений . . . . .	199
§ 2.	Система переменных приращений в цифровых интеграторах . . . . .	202
§ 3.	Кодирование чисел и приращений в случае бинарной системы . . . . .	203
§ 4.	Кодирование чисел и приращений в случае тернарной системы . . . . .	215
§ 5.	О цикличности кодов цифровых интеграторов . . . . .	223
<i>Глава VII. Математические операции с потоками приращений . . . . .</i>		227
§ 1.	Система математических операций с потоками приращений . . . . .	227
§ 2.	Алгоритмы интегрирования потоков приращений . . . . .	229
§ 3.	Алгоритмы суммирования потоков приращений . . . . .	232
§ 4.	Алгоритмы дифференцирования потоков приращений . . . . .	240
§ 5.	Алгоритмы умножения потоков приращений . . . . .	244
§ 6.	Алгоритмы деления потоков приращений . . . . .	245
§ 7.	Понятие о скорости потока приращений . . . . .	247
<i>Глава VIII. Функциональные схемы цифровых интеграторов . . . . .</i>		250
§ 1.	Последовательный цифровой интегратор на основе формулы прямоугольников . . . . .	250
§ 2.	Последовательный цифровой интегратор на одном сумматоре . . . . .	254

§ 3. Параллельный цифровой интегратор . . . . .	258
§ 4. Суммирующие блоки . . . . .	261
§ 5. Множительные блоки . . . . .	264
§ 6. Индикаторы равенства потоков приращений . . . . .	265
<i>Глава IX. Погрешности цифровых интеграторов . . . . .</i>	<i>268</i>
§ 1. Погрешности метода интегрирования . . . . .	268
§ 2. Погрешности квантования и округления . . . . .	271
§ 3. Оценка полной погрешности цифрового интегратора . . . . .	273
§ 4. О соотношениях между погрешностями и о выборе величины квантов . . . . .	276
§ 5. Погрешность кодирования приращений . . . . .	277
§ 6. Погрешности квантования и динамические погрешности в сумматорах потоков приращений . . . . .	280
Приложение I . . . . .	282
Литература . . . . .	289

Каляев Анатолий Васильевич

**Введение в теорию цифровых интеграторов**

*Печатается по постановлению ученого совета  
Института кибернетики АН УССР*

Редакторы *Н. М. Лабинова, Т. С. Мельник*

Художественный редактор *В. П. Кузь*

Оформление художника *В. А. Лисецкого*

Технический редактор *А. А. Матвейчук*

Корректор *В. А. Литовкина*

БФ 05184. Зак. № 2256. Изд. № 14. Тираж 3300. Формат бумаги 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. физ. листов 18,25+2 вкл. Условн. печ. листов 19,12<sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Учетно-изд. листов 17,6. Подписано к печати 21/II 1964 г. Цена 1 руб. 8 коп.

Типография Издательства АН УССР, Киев, Репина, 4,