А. В. Анісімов, А. Ю. Дорошенко,
С. Д. Погорілий, Я. Ю. Дорогий



ПРОГРАМУВАННЯ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ МОВОЮ PYTHON

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРОГРАМУВАННЯ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ МОВОЮ PYTHON

Підручник

За редакцією
чл.-кор. НАН України А. В. Анісімова

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ 2015

УДК 004.43(075.8)
ББК 22.183.492я73
П78

Автори:
А. В. Анісімов, А. Ю. Дорошенко,
С. Д. Погорілий, Я. Ю. Дорогий

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. Є. О. Башков,
д-р фіз.-мат. наук, проф. М. М. Глибовець,
д-р фіз.-мат. наук, проф. Ю. В. Боднарчук,
д-р фіз.-мат. наук, проф. В. А. Львов

Рекомендовано до друку вченою радою факультету кібернетики
(протокол № 2 від 28 жовтня 2013 року)

Ухвалено науково-методичною радою
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
29 листопада 2013 року

П78 Програмування числових методів мовою *Python* : підручник / А. В. Анісімов, А. Ю. Дорошенко, С. Д. Погорілий, Я. Ю. Дорогий ; за ред. А. В. Анісімова. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2014. – 640 с.

ISBN 978-966-439-813-5

Викладено основні відомості про засоби та методи програмування мовою *Python*, яка є універсальною інтерпретованою, об'єктно-орієнтованою мовою програмування високого рівня, що розвивається у відкритих вихідних кодах на багатьох платформах і надається безкоштовно для загального користування.

Для студентів вищих навчальних закладів із напрямів підготовки "Інформатика", "Прикладна математика", "Програмна інженерія", "Комп'ютерна інженерія", "Системна інженерія", а також науковців, інженерів, аспірантів і всіх зацікавлених у швидкому розробленні прикладних програм наукового спрямування.

УДК 004.43(075.8)
ББК 22.183.492я73

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11–5565 від 15.04.14)

ISBN 978-966-439-813-5

© Анісімов А. В., Дорошенко А. Ю., Погорілий С. Д., Дорогий Я. Ю., 2015
© Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ВПЦ "Київський університет", 2015

ЗМІСТ

Передмова **13**
Частина 1. ПРОГРАМУВАННЯ МОВОЮ PYTHON **15**
Розділ 1. Вступ до програмування мовою Python **15**
1.1. Мова й інтерпретатор Python 15
1.1.1. Ліцензійні угоди з використання програмного забезпечення мови Python 15
1.1.2. Порівняння мови Python з іншими мовами програмування Її переваги та вади 16
1.1.3. Переваги та вади ООП порівняно з мовами сценаріїв 17
1.1.4. Використання інтерпретатора Python 18
1.1.5. Середовище програмування для Python 19
1.2. Неформальний вступ до мови Python 19
1.2.1. Інтерпретатор Python як калькулятор. Числа 20
1.2.2. Пріоритети операцій 21
1.2.3. Стандартний модуль math 22
1.2.4. Імпорт модулів 22
1.2.5. Рядки 23
1.2.6. Списки 25
1.3. Елементи програмування: інструкції while, if, for 26
1.3.1. Інструкція while 26
1.3.2. Інструкція if 27
1.3.3. Інструкція for 28
1.3.4. Переривання та продовження циклів for і while 31
1.3.5. Оптимальні цикли 32
1.3.6. Порожня інструкція pass 33
1.4. Стиль запису програм Python 33
Розділ 2. Функції та структури даних **41**
2.1. Визначення та документування функцій 41
2.1.1. Функціональне програмування (FP) 41
2.1.2. Визначення функції 41
2.1.3. Параметри за замовчуванням 42

2.1.4. Передавання у функцію
змінної кількості аргументів 44
2.1.5. Використання lambda-функцій 44
2.1.6. Простір імен функції 45
2.1.7. Документування функцій 46
2.1.8. Системи одержання
довідкової інформації з Python 46
2.1.9. Документація з мови Python 46
2.1.10. Убудована допомога, модуль pydoc 47
2.1.11. Пошук та перегляд
документації у веб-браузері 49
2.2. Структури даних:
рядки, списки, кортежі, словники 49
2.2.1. Додаткові дані про списки 49
2.2.2. Додаткові можливості
конструювання списків 51
2.2.3. Інструкція del 52
2.2.4. Кортежі 52
2.2.5. Словники 54
2.2.6. Порівняння послідовностей 55
2.3. Деякі бібліотечні модулі 56
Розділ 3. Організація проекту застосування 62
3.1. Модулі та пакети 62
3.1.1. Створення та використання модулів 62
3.1.2. Імпорт модулів 64
3.1.3. Пошук модулів 65
3.1.4. "Скомпільовані" файли 65
3.1.5. Використання стандартних модулів 66
3.1.6. Пакети 67
3.1.7. Рекомендація щодо інсталяції пакетів 68
3.2. Уведення/виведення даних 70
3.2.1. Форматоване виведення 70
3.2.2. Зчитування та запис файлів 72
3.2.3. Методи об'єктів-файлів 72
3.2.4. Модуль pickle 74
3.3. Помилки та виняткові ситуації 74
3.3.1. Синтаксичні помилки 75

3.3.2. Виняткові ситуації 76
3.3.3. Обробка виняткових ситуацій 76
3.3.4. Генерування виняткових ситуацій 77
3.3.5. Налагоджувач коду мовою Python
у бібліотечному модулі pdb 78
Розділ 4. Класи й визначення конструкцій мови 85
4.1. Основні відомості про класи 85
4.1.1. Області видимості та простори імен 85
4.1.2. Опис класу 86
4.1.3. Доступ до елементів класів через посилання 88
4.1.4. Спадкування 88
4.1.5. Закриті (частково) атрибути 90
4.1.6. Приклад використання класу 90
4.2. Синтаксис та семантика конструкцій мови 91
4.2.1. Вирази, атоми й оператори (операції) 91
4.2.2. Прості інструкції 93
4.2.3. Інші елементи мови та вбудовані функції 93
4.2.4. Складні інструкції: if, while, for, try 95
4.3. Визначення функцій і класів 97
4.3.1. Визначення функції 97
4.3.2. Оголошення класів 98
4.3.3. Простори імен 98
4.3.4. Типи та класи в Python 99
Розділ 5. Убудовані типи даних 105
5.1. Убудовані базові типи даних 105
5.1.1. Базові логічні операції 105
5.1.2. Числові типи: цілі, дійсні, комплексні 107
5.1.3. Арифметичні й бітові операції 108
5.1.4. Незмінювані послідовності: рядки, кортежі 109
5.1.5. Змінювані послідовності: списки 112
5.1.6. Словники (відображення) 112
5.2. Викликувані об'єкти,
інші типи вбудованих об'єктів 114
5.2.1. Викликувані об'єкти 115
5.2.2. Функції 115
5.2.3. Методи 115
5.2.4. Убудовані функції та методи 115

5.2.5. Кодові об'єкти ... 116
5.2.6. Класи та їхні екземпляри ... 116
5.2.7. Модулі ... 117
5.2.8. Класи ... 117
5.2.9. Спеціальні методи класів у Python ... 118
5.2.10. Використання спеціальних методів ... 119
5.2.11. Екземпляри класів ... 119
5.2.12. Файлові об'єкти. Файлові методи ... 120
5.2.13. Інші об'єкти ... 121
5.2.14. Спеціальні атрибути ... 121
5.3. Убудовані функції та вбудовані класи виняткових ситуацій ... 121
5.3.1. Убудовані функції ... 121
5.3.2. Убудовані класи виняткових ситуацій ... 122
5.4. Бібліотечні модулі ... 124
5.4.1. Службовий модуль sys – характерні для системи параметри та функції ... 124
5.4.2. Математичний апарат ... 124
5.4.3. Збереження та копіювання об'єктів ... 125
5.4.4. Перетворення об'єктів у послідовну форму ... 126
Розділ 6. Графічний інтерфейс користувача ... 131
6.1. Огляд графічних бібліотек ... 131
6.2. Основи Tk ... 133
6.2.1. Класи віджетів ... 134
6.2.2. Події ... 135
6.2.3. Створення та конфігурування віджета ... 138
6.2.4. Віджет форматованого тексту ... 141
6.2.5. Менеджери розташування ... 144
6.2.6. Зображення у Tkinter ... 146
6.2.7. Графічне застосування на Tkinter ... 149
6.3. Основні принципи роботи з PyQt4 ... 152
6.3.1. Відомості про PyQt ... 152
6.3.2. Приклади програм на PyQt4 ... 153
6.3.3. Меню і панель інструментів у PyQt4 ... 157
6.3.4. Сигнали та слоти в PyQt4 ... 162
6.3.5. Розміщення віджетів у PyQt4 ... 166
6.3.6. Діалогові вікна в PyQt4 ... 171
6.3.7. Віджети в PyQt4 ... 176

Розділ 7. Обробка тексту 185
7.1. Основні операції 185
7.1.1. Виділення підрядків 186
7.1.2. Пошук підрядків 186
7.1.3. Заміщення 187
7.1.4. Розбиття рядків 188
7.1.5. Верхній та нижній регістри 188
7.1.6. Рядки – це константи 188
7.1.7. Перевірка на цифри 189
7.1.8. Перевірка на пробільні символи 189
7.1.9. Об'єднання рядків 190
7.1.10. Основні операції з рядками 191
7.1.11. Рекомендації з ефективності 191
7.1.12. Приклади розв'язування реальних задач 191
7.2. Кодування Python-програми 199
7.3. Модулі для роботи з рядками 199
7.3.1. Модуль string 199
7.3.2. Модуль StringIO 201
7.3.3. Модуль difflib 201
7.4. Регулярні вирази 202
7.4.1. Синтаксис регулярного виразу 203
7.4.2. Методи шаблона-об'єкта 207
7.4.3. Приклади шаблонів 208
7.4.4. Налагоджування регулярних виразів 210
7.5. Робота з Unicode 211
Розділ 8. Засоби відображення даних 220
8.1. MATPLOTLIB 220
8.1.1. Набір точок 220
8.1.2. Функція 222
8.1.3 Прикраси 223
8.1.4. Кілька кривих 224
8.1.5. Маркери 227
8.1.6. Додаткові аргументи plot() 228
8.1.7. Збереження файла 229
8.1.8. Панель керування 230
8.1.9. Гістограми 231
8.1.10. Облік похибок 232

8.1.11. Діаграми-стовпці ... 234
8.1.12. Кругові діаграми ... 236
8.1.13. Графік розсіювання ... 237
8.1.14 .Полярні координати ... 238
8.1.15. Текст, примітки ... 240
8.2. Основи 3D програмування VPython ... 240
8.2.1. VPython у середовищі IDLE ... 240
8.2.2. Візуальні об'єкти ... 242
Розділ 9. Засоби розбору форматів розмітки документів ... 245
9.1. Що таке веб-сторінка? ... 245
9.1.1. Як використовувати веб-сторінки в програмах ... 246
9.1.2. Читання простого текстового файла ... 246
9.1.3. Отримання даних з html ... 249
9.2. Формат CSV ... 252
9.3. Пакет email ... 255
9.3.1. Розбір повідомлення. Клас Message ... 256
9.3.2. Формування повідомлення ... 258
9.3.3. Розбір поля заголовка ... 261
9.4. Мова XML ... 262
9.4.1. Формування XML-документа ... 264
9.4.2. Аналіз XML-документа ... 266
9.4.3. Простори імен ... 269
Розділ 10. Створення веб-застосувань. Мережеві протоколи ... 275
10.1. CGI-сценарії ... 275
10.1.1. Модуль cgi ... 278
10.1.2. Що після CGI? ... 281
10.2. Більш складні засоби для створення програм ... 285
10.3. Робота із сокетами ... 290
10.3.1. Модуль smtplib ... 293
10.3.2. Модуль poplib ... 296
10.4. Модулі для клієнта www ... 300
10.4.1. Функції для завантаження мережевих об'єктів ... 300
10.4.2. Функції для аналізу URL ... 303
10.4.3. Можливості urllib2 ... 305
10.5. XML-RPC-сервер ... 307
Розділ 11. Робота з базами даних ... 310

11.1. Основні визначення 310
11.2. Що таке DB-API 2.0? 310
11.2.1. Опис DB-API 2.0 311
11.2.2. Інтерфейс модуля 311
11.2.3. Об'єкт-з'єднання 312
11.2.4. Об'єкт-курсор 313
11.2.5. Об'єкти-типи 315
11.3. Робота з базою даних із Python-програми 316
11.3.1 Знайомство із СКБД 317
11.3.2. Створення бази даних 318
11.3.3. Наповнення бази даних 320
11.3.4. Вибірки з бази даних 322
11.4. Інші СКБД і Python 323
Розділ 12. Багатопотокові обчислення 328
12.1. Про потоки керування 328
12.1.1. Функції модуля threading 330
12.1.2. Клас Thread 330
12.1.3. Таймер 332
12.1.4. Замки 332
12.1.5. Семафори 335
12.1.6. Події 336
12.1.7. Умови 337
12.1.8. Черга 339
12.1.9. Модуль thread 340
Частина 2. ЧИСЛОВІ МЕТОДИ МОВОЮ PYTHON 342
Розділ 1. Вступ до числових методів 342
1.1. Автоматизація розв'язування задач проектування 342
1.2. Обчислювальні методи й алгоритми 343
1.2.1. Поняття алгоритму та граф-схеми алгоритму 344
1.2.2. Особливості числових методів 346
Розділ 2. Наближені числа й оцінювання похибок обчислень 351
2.1. Наближені числа. Класифікація похибок 351
2.2. Значуща цифра. Число вірних знаків 353
2.3. Правила округлення чисел 355
2.4. Обчислення похибки функції від n аргументів 356
Розділ 3. Елементи векторної і матричної алгебри 360

3.1. Вектори 360
3.2. Матриці 362
3.2.1. Обчислення визначника 371
3.2.2. Обернення матриць..... 374
3.2.3. Матричні рівняння 376
Розділ 4. Числове розв'язування алгебраїчних та трансцендентних рівнянь 382
4.1. Алгебраїчні та трансцендентні рівняння 382
4.2. Корені нелінійного рівняння..... 383
4.2.1. Метод половинного ділення 384
4.2.2. Метод хорд 387
4.2.3. Метод Ньютона..... 389
4.2.4. Метод простої ітерації..... 392
4.3. Теорема про стискаючі відображення..... 399
Розділ 5. Апроксимація функцій 404
5.1.Основні поняття 404
5.1.1. Постановка задачі 404
5.1.2. Інтерполяція, середньоквадратичне та рівномірне наближення..... 405
5.2. Глобальна інтерполяція 409
5.2.1. Лінійна та квадратична інтерполяція..... 409
5.2.2. Інтерполяційна формула Лагранжа..... 414
5.2.3. Обчислення значень поліномів..... 423
5.2.4. Побудова полінома за формулою Лагранжа 424
5.2.5. Скінченні різниці різних порядків 428
5.2.6. Поняття про поділені різниці..... 430
5.2.7. Інтерполяційна формула Ньютона..... 432
5.2.8. Інтерполяція для рівновіддалених вузлів 436
5.3. Багатоінтервальна інтерполяція 438
5.3.1. Властивості багатоінтервальної інтерполяції 438
5.3.2. Кусково-лінійна інтерполяція..... 439
5.3.3. Кусково-нелінійна інтерполяція..... 441
5.3.4. Параболічні сплайни..... 445
5.3.5. Кубічні сплайни 451
5.4. Середньоквадратичне наближення..... 462
5.4.1. Метод найменших квадратів. Нормальні рівняння 462

5.4.2. Застосування ортогональних поліномів
у методі найменших квадратів 467
Розділ 6. Розв'язування систем лінійних рівнянь 474
6.1. Загальні положення 474
6.2. Прямі методи 476
6.2.1. Метод Гаусса 476
6.2.2. Число зумовленості методу Гаусса 480
6.2.3. Метод Гаусса з вибором головного елемента 482
6.2.4. Метод Гаусса з вибором головного елемента
по всьому полю 489
6.2.5. LU-алгоритм 492
6.2.6. Метод Жордано 498
6.2.7. Метод оптимального виключення 500
6.2.8. Метод прогонки 500
6.2.9. Погано зумовлені системи 504
6.3. Ітераційні методи 512
6.3.1. Метод послідовних наближень 514
6.3.2. Метод простої ітерації 520
6.3.3. Метод Зейделя 525
6.3.4. Метод Некрасова 528
Розділ 7. Розв'язування систем нелінійних рівнянь 533
7.1. Метод Ньютона, його реалізації та модифікації 534
7.1.1. Метод Ньютона 534
7.1.2. Модифікований метод Ньютона 537
7.1.3. Метод Ньютона
з послідовною апроксимацією матриць 538
7.1.4. Різницевий метод Ньютона 542
7.2. Інші методи розв'язування
систем нелінійних рівнянь 542
7.2.1. Метод простих січних 542
7.2.2. Метод простих ітерацій 543
7.2.3. Метод Брауна 547
7.2.4. Метод січних Бройдена 550
7.3. Про розв'язування
нелінійних систем методами спуску 556
Розділ 8. Числове інтегрування функцій 562
8.1. Метод прямокутників 563

8.2. Метод трапецій 566
8.3. Метод Симпсона 572
Розділ 9. Розв'язування звичайних диференціальних рівнянь 580
9.1. Задача Коші та крайова задача 580
9.2. Однокрокові методи 582
9.2.1. Метод Ейлера 583
9.2.2. Похибка методу Ейлера 584
9.2.3. Модифікований метод Ейлера – Коші 586
9.2.4. Методи Рунге – Кутта 593
9.2.5. Метод Рунге – Кутта – Мерсона 599
9.3. Багатокрокові методи 601
9.3.1. Різницевий вигляд методу Адамса 603
9.3.2. Метод Адамса – Бешфортса 605
9.3.3. Метод Мілна 609
9.3.4. Метод Хеммінга 610
9.3.5. Метод Гіра 611
Список літератури 617
Додаток А. Класи виняткових ситуацій 618
Додаток Б. Спеціальні методи 624