

УДК 004.42  
ББК 32.973-018  
Д58

Д 58 Довек Жиль, Леви Жан-Жак  
Введение в теорию языков программирования — Пер. с англ. —  
М.: ДМК Пресс, 2015. — 134 с.: ил.  
ISBN 978-5-97060-242-3

Языки программирования от Фортрана и Кобола до Caml и Java играют ключевую роль в управлении сложными компьютерными системами. Книга «Введение в теорию языков программирования» представляет читателю средства, необходимые для проектирования и реализации подобных языков. В ней предлагается единый подход к различным формализмам для определения языков программирования — операционной и денотационной семантике. Особое внимание при этом уделяется способам задания отношений между тремя объектами: программой, входным значением и результатом. Эти формализмы демонстрируются на примере таких типичных элементов языков программирования, как функции, рекурсия, присваивание, записи и объекты. При этом показывается, что теория языков программирования состоит не в последовательном изучении самих языков один за другим, а строится вокруг механизмов, входящих в различные языки. Изучение таких механизмов в книге приводит к разработке вычислителей, интерпретаторов и компиляторов, а также к реализации алгоритмов вывода типов для учебных языков.

УДК 004.42  
ББК 32.973-018

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок всё равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несёт ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-0-85729-075-5 (англ.) © 2011 Springer-Verlag London Limited  
ISBN 978-5-97060-242-3 (рус.) © Перевод на русский язык, оформление,  
ДМК Пресс, 2015

# Оглавление

От переводчиков	9
Что называют теорией языков программирования?	13
Благодарности	17
Глава 1. Термы и отношения	19
1.1. Индуктивные определения	19
1.1.1. Теорема о неподвижной точке	19
1.1.2. Индуктивные определения	22
1.1.3. Структурная индукция	25
1.1.4. Рефлексивно-транзитивное замыкание отношения	25
1.2. Языки	26
1.2.1. Языки без переменных	26
1.2.2. Переменные	26
1.2.3. Многосортные языки	29
1.2.4. Свободные и связанные переменные	29
1.2.5. Подстановка	30
1.3. Три способа задания семантики языка	32
1.3.1. Денотационная семантика	32
1.3.2. Операционная семантика с большим шагом	32
1.3.3. Операционная семантика с малым шагом	33
1.3.4. Незавершающиеся вычисления	33
Глава 2. Язык РСФ	35
2.1. Функциональный язык РСФ	35
2.1.1. Программы как функции	35
2.1.2. Функции как объекты первого класса	35
2.1.3. Функции с несколькими аргументами	36

2.1.4. Без присваиваний . . . . .	36
2.1.5. Рекурсивные определения . . . . .	36
2.1.6. Определения . . . . .	37
2.1.7. Язык PCF . . . . .	37
2.2. Операционная семантика с малым шагом . . . . .	39
2.2.1. Правила . . . . .	39
2.2.2. Числа . . . . .	40
2.2.3. Эквивалентность (congruence) . . . . .	42
2.2.4. Пример . . . . .	42
2.2.5. Нередуцируемые замкнутые термы . . . . .	43
2.2.6. Незавершающиеся вычисления . . . . .	45
2.2.7. Слияние (confluence) . . . . .	46
2.3. Стратегии редукции . . . . .	47
2.3.1. Понятие стратегии . . . . .	47
2.3.2. Слабая редукция . . . . .	48
2.3.3. Вызов по имени . . . . .	49
2.3.4. Вызов по значению . . . . .	50
2.3.5. Немного лени не помешает . . . . .	50
2.4. Операционная семантика с большим шагом . . . . .	51
2.4.1. Вызов по имени . . . . .	51
2.4.2. Вызов по значению . . . . .	52
2.5. Вычисление PCF-программ . . . . .	54
Глава 3. От вычисления к интерпретации . . . . .	57
3.1. Вызов по имени . . . . .	57
3.2. Вызов по значению . . . . .	59
3.3. Оптимизация: индексы де Брауна . . . . .	60
3.4. Построение функций с помощью неподвижных точек . . . . .	63
3.4.1. Первая версия: рекурсивные замыкания . . . . .	63
3.4.2. Вторая версия: рациональные значения . . . . .	65
Глава 4. Компиляция . . . . .	69
4.1. Интерпретатор, написанный на языке без функций . . . . .	70
4.2. От интерпретации к компиляции . . . . .	71
4.3. Абстрактная машина для PCF . . . . .	72
4.3.1. Окружение . . . . .	72
4.3.2. Замыкания . . . . .	72
4.3.3. Конструкции PCF . . . . .	73
4.3.4. Использование индексов де Брауна . . . . .	74
4.3.5. Операционная семантика с малым шагом . . . . .	74
4.4. Компиляция PCF . . . . .	75

Глава 5. РСF с типами	79
5.1. Типы	80
5.1.1. РСF с типами	80
5.1.2. Отношение типизации	82
5.2. Отсутствие ошибок во время выполнения	84
5.2.1. Использование операционной семантики с малым шагом	84
5.2.2. Использование операционной семантики с большим шагом	85
5.3. Денотационная семантика для РСF с типами	86
5.3.1. Тривиальная семантика	86
5.3.2. Завершаемость	87
5.3.3. Отношение порядка Скотта	89
5.3.4. Семантика неподвижной точки	90
Глава 6. Вывод типов	95
6.1. Вывод мономорфных типов	95
6.1.1. Присвоение типов нетипизированным термам	95
6.1.2. Алгоритм Хиндли	96
6.1.3. Алгоритм Хиндли с немедленным разрешением	99
6.2. Полиморфизм	101
6.2.1. РСF с полиморфными типами	102
6.2.2. Алгоритм Дамаса—Милнера	104
Глава 7. Ссылки и присваивание	107
7.1. Расширение РСF	108
7.2. Семантика РСF со ссылками	109
Глава 8. Записи и объекты	117
8.1. Записи	117
8.1.1. Помеченные поля	117
8.1.2. Расширение РСF записями	118
8.2. Объекты	122
8.2.1. Методы и функциональные поля	122
8.2.2. Что значит «Self»?	123
8.2.3. Объекты и ссылки	125
Послесловие	127
Библиография	131
Предметный указатель	132