

# Языки программирования. Метапрограммирование

Алексей Островский

Физико-технический учебно-научный центр НАН Украины

12 декабря 2014 г.

# Языки программирования

## Определение

**Язык программирования** — формальный язык для записи инструкций, выполняемых исполнителем (чаще всего — ЭВМ).

### Составляющие языка:

- ▶ Синтаксис — набор правил, определяющих последовательности символов, составляющих допустимую программу или ее фрагмент.
- ▶ Семантика — правила, определяющие значение различных конструкций языка.
- ▶ Система выполнения и стандартная библиотека — определяют функциональность, доступную для всех имплементаций языка без подключения внешних модулей.

# Классификация языков программирования

## Способы классификации ЯП:

- ▶ по способу представления инструкций — текстовые, графические, смешанные;
- ▶ по конкретизации инструкций — императивные (инструкции определяют последовательность действий), декларативные (инструкции определяют конечный результат, но не способ его достижения);
- ▶ по поддерживаемым парадигмам программирования;
- ▶ по выразительной силе — полные и неполные по Тьюрингу;
- ▶ по области применения — общего назначения и предметно-ориентированные;
- ▶ по семантическим характеристикам, напр., особенностям системы типов данных.

# Синтаксис ЯП

**Синтаксис = форма ЯП.**

**Описание синтаксиса:** формы Бэкуса — Наура (БНФ).

**Роль в обработке программы:**

- ▶ лексический анализ — группирование символов программы в лексемы (напр., числа, строки, ключевые слова);
- ▶ синтаксический анализ — построение дерева разбора на основе лексем.

**Синтаксис БНФ:<sup>1</sup>**

`<выражение> ::= <альтернатива 1> | <альтернатива 2> | ... | <альтернатива n>`

---

<sup>1</sup> В БНФ может использоваться синтаксис регулярных выражений (+ = повтор 1 или более раз, [] — выбор из нескольких вариантов и т. п.).

## Пример БНФ

### БНФ для списков:

```
1  expression ::= element | list
2  element    ::= number | variable
3  number     ::= [+ -]?[ '0' - '9' ]+
4  variable   ::= [ 'A' - 'Z' 'a' - 'z' ] '\w'*
5  list       ::= '[' (expression ',' )* expression ']' | '[]'
```

### Допустимые списки:

- ▶ []
- ▶ [1, [2, 3], foo, Bar]
- ▶ [-123456789, [[[]], [+987654321, baZZ]]]

# Семантика ЯП

**Семантика = содержание или смысл ЯП.**

**Описание семантики:** математические и логические модели.

**Составляющие семантики:**

- ▶ статическая семантика — ограничение на инструкции, не формализуемые в БНФ (напр., декларирование переменных, анализ инициализации, ограничения, связанные с системой типов);
- ▶ динамическая семантика — определение поведения отдельных конструкций языка, преобразование дерева разбора в машинные инструкции;
- ▶ формальная семантика — анализ кода программы для получения ее характеристик, напр., для доказательства корректности (логика Хоара) или оптимизации.

## Различия между синтаксисом и семантикой

### Синтаксические и семанические ошибки в Java:

```
1  /* Некорректный синтаксис. */
2  int x == 5;
3
4  /* Некорректная семантика — неизвестный тип переменной. */
5  MissingType y;
6
7  /* Некорректная семантика — переменная не определена. */
8  z = 3;
9
10 /* Некорректная семантика — переменная не инициализирована. */
11 String str;
12 while (str.length() < 20) str += " ";
```

# Система типов

## Определение

**Система типов языка программирования** — совокупность правил, определяющих свойство типа для конструкций языка (переменных, выражений, функций, модулей, ...).

### Цели системы типов:

- ▶ **основная:** определение интерфейсов для взаимодействия с частями программы и обеспечение их корректного использования с целью устранения ошибок;
- ▶ обеспечение функциональности языка (напр., динамическая диспетчеризация в ООП);
- ▶ рефлексия;
- ▶ оптимизация;
- ▶ повышение доступности программы для понимания.



# Классификация типов

## Категории типов в ЯП:

- ▶ примитивные типы (булев тип, целые и вещ. числа);
- ▶ ссылки и указатели;
- ▶ составные типы (напр., массивы и записи);
- ▶ объекты;
- ▶ функции;
- ▶ типы типов (напр., `Class<?>` в Java).

## Унификация типов в ООП:

- ▶ языки, в которых все типы наследуются от базового типа (C#, Python);
- ▶ языки с изолированными примитивными типами (C++, Java, JavaScript).

## Проверка типов в различных ЯП

### Java:

```
1 String str = "4" + 2; // str == "42"
```

### Python:

```
1 x = "4" + 2;  
2 # TypeError: cannot concatenate 'str' and 'int' objects
```

### PHP:

```
1 <?php  
2 $number = 2;  
3 $x = '4' + $number; // $x == 6  
4 $x = '4'.$number; // $x == "42"
```

### C:

```
1 printf("%s\n", "4" + 2);  
2 char* nextStr = "next string";  
3 // выведет (скорее всего) "next string"
```

## Статическая и динамическая типизация

**Статическая типизация** — определение типов всех конструкций языка на этапе компиляции программы.

### Виды статической типизации:

- ▶ явная — типы конструкций декларируются программистом (напр., при объявлении переменных);
- ▶ неявная — тип переменных выводится в процессе компиляции. Примеры:
  - ▶ `var x = 5` в C#;
  - ▶ `List<> list = new ArrayList<String>()` в Java 7+.

**ЯП со статической типизацией:** C++, Pascal, Java, C#.

**Динамическая типизация** — определение типов некоторых конструкций и проверка соответствующих ограничений во время выполнения программы.

**ЯП с динамической типизацией:** Python, PHP, Perl, JavaScript.

# Утиная типизация

## Определение

**Утиная типизация** (англ. *duck typing*) — вид динамической типизации, при которой корректность использования объекта определяется набором его методов и свойств, а не типом.

### ЯП с утиной типизацией:

- ▶ языки с ООП на основе прототипов (JavaScript, Lua);
- ▶ Python;
- ▶ Smalltalk.

**Пример динамической не утиной типизации:** подсказки типов (англ. *data hinting*) в PHP.

## Сильная и слабая типизация

**Типобезопасность** (англ. *type safety*) — предотвращение языком программирования ошибок согласования типов (напр., интерпретации целого числа `int` как вещественного `float`).

**Безопасность памяти** (англ. *memory safety*) — предотвращение ЯП доступа к оперативной памяти, не выделенной в ходе выполнения программы.

**Сильная типизация** — высокая степень типобезопасности и безопасности памяти (напр., отсутствие неявных приведений типов, указателей).

**Примеры ЯП с сильной типизацией:** Python, Java, функциональные ЯП.

**Слабая типизация** — возможность обхода безопасности типов и памяти с помощью конструкций ЯП (напр., `void*` в C/C++).

**Примеры ЯП со слабой типизацией:** C, C++, Visual Basic.

# Полиморфизм

## Определение

**Полиморфизм** — использование единого интерфейса для сущностей различных типов.

### Виды полиморфизма:

- ▶ Специальный (ad hoc) полиморфизм — определение различных реализаций для конечного числа фиксированных наборов входных типов (напр., перегрузка функций / методов).
- ▶ Параметрический полиморфизм — определение обобщенной реализации для произвольного типа (напр., шаблоны в C++; generics в Java).
- ▶ Полиморфизм подтипов — использование интерфейса класса для любого производного от него подкласса (применяется в ООП).

## Реализация ЯП

- ▶ **Компилируемые ЯП** — исходный код преобразуется в машинный *до начала* выполнения.  
**Примеры:** C/C++, Pascal.
- ▶ **Интерпретируемые ЯП** — преобразование кода в машинные инструкции *по ходу* выполнения.  
**Примеры:** PHP, JavaScript.
- ▶ Компиляция в независимый от платформы код и его интерпретация.  
**Примеры:** Java (байт-код), C# (CLR — common language runtime).

# Метапрограммирование

## Определение

**Метапрограммирование** — разработка программ, обращающихся с программами как с данными:

- ▶ создание программ, порождающих другие программы (в том числе во время компиляции);
- ▶ разработка программ, модифицирующих свой код во время исполнения.

## Цели метапрограммирования:

- ▶ минимизация затрат на разработку;
- ▶ оптимизация кода;
- ▶ автоматизация разработки за счет использования высокоуровневых абстракций.



## Виды метапрограммирования

1. **Шаблоны** — автоматическая генерация мало различающихся параметризованных фрагментов кода.  
**Примеры параметров:** типы данных, размеры массивов.  
**Примеры:** препроцессоры в C и сходных языках; шаблоны в C++.
2. **Интерпретация** произвольного исходного кода с помощью специальных функций.  
**Примеры:** Функция `eval` в Python, PHP, JavaScript и других интерпретируемых ЯП.
3. Использование **рефлексии** (англ. *reflection*) для модификации программы во время выполнения.
4. Использование **предметно-специфичных языков** (англ. *domain-specific languages*) с последующей трансляцией или интерпретацией при помощи ЯП общего назначения.

# Рефлексия

## Определение

**Рефлексия** или **отражение** (англ. *reflection*) — отслеживание и изменение структуры и поведения программы во время ее выполнения.

### Возможности рефлексии:

- ▶ поиск и извлечение информации о типах во время исполнения;
- ▶ определение дополнительной информации о классах / методах (напр., данные об аннотациях в Java);
- ▶ создание или переопределение классов / методов во время работы программы.

## Варианты использования рефлексии

- ▶ **Тестирование:** создание мок-объектов — заглушек, реализующих требуемые функции программного окружения.
- ▶ **Контейнеры объектов** (напр., серверы приложений): управление жизненным циклом объектов.
- ▶ **Интерпретация предметно-ориентированных языков:** установление связи между объектами ЯП общего назначения и инструкциями DSL.

## Пример рефлексии

### Рефлексия в JavaScript:

```
1  function Button() { /* ... */ };
2
3  Button.prototype = {
4      onClick: function() { /* ... */ },
5      onDoubleClick: function() { /* ... */ },
6      /* ... */
7
8      /** Заменяет все методы объекта, начинающиеся на 'on', на заглушки. */
9      disable4ever: function() {
10         var noop = function() { alert('I am disabled!'); };
11         for (var member in this) {
12             if ((typeof(this[member]) == 'function')
13                 && (member.substring(0, 2) == 'on')) {
14                 this[member] = noop;
15             }
16         }
17     }
18 };
```

## DSL

## Определение

**Предметно-ориентированный язык** (англ. *domain-specific language*) — компьютерный язык, специализированный для конкретной области применения.

## Примеры ПОЯ

Область	Язык(и)
Веб-страницы (отображение)	HTML, CSS
Компьютерная верстка	T <sub>E</sub> X/ L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X
Веб-страницы (генерация)	Языки шаблонов ( <a href="#">Twig</a> , <a href="#">Jinja</a> / шаблоны Django, <a href="#">JSP</a> )
Матричное программирование	Matlab, Octave
Реляционные СУБД	SQL

## Причины появления DSL

**Задача:** создание представлений (view) в рамках архитектуры MVC.

**Наивное решение:** использование ЯП общего назначения (напр., Python).

### Наивное представление в ЯП Python

```
1  # Список книг, взятый из базы данных.
2  books = [
3      { 'author': 'Ray Bradbury', 'title': '451F' },
4      { 'author': 'Herman Melville', 'title': 'Moby-Dick' }
5  ];
6
7  # HTML-код таблицы с данными о книгах.
8  print '<table>';
9  print '<thead><tr><th>Author</th><th>Title</th></tr></thead>';
10 print '<tbody>';
11 for book in books:
12     print '<tr><td>%s</td><td>%s</td></tr>'
13         % (book['author'], book['title']);
14 print '</tbody>';
15 print '</table>';
```

## Причины появления DSL

### Недостатки использования ЯП общего назначения:

- ▶ громоздкость кода (избыток функций вывода и т. п.);
- ▶ соблазн внести код, не относящийся к созданию представления;
- ▶ разработчик интерфейса сайта может не знать ЯП общего назначения.

**Решение:** использование языка шаблонов (HTML с дополнительными управляющими конструкциями).

```
1  <table>
2      <thead><tr><th>Author</th><th>Title</th></tr></thead>
3      <tbody>
4          {% for book in books %}
5          <tr>
6              <td>{{ book.author }}</td><td>{{ book.title }}</td>
7          </tr>
8          {% endfor %}
9      </tbody>
10 </table>
```

## Место DSL в разработке ПО

### Варианты использования DSL:

1. DSL используется для конфигурации компонентов, написанных на ЯП общего назначения;
2. DSL встраивается в ЯП общего назначения (напр., Java Scripting Engine);
3. DSL транслируется (чаще всего — в код на ЯП высокого уровня).

### Инструменты для разработки DSL:

- ▶ средства лексического и синтаксического анализа (yacc, lex, bison, ANTLR);
- ▶ инструменты моделирования предметной области (Eclipse Modeling Framework).



## Преимущества DSL

- ▶ **Разделение ответственности** (англ. *separation of concerns*) — независимость семантики языка от его реализации;
- ▶ **высокий уровень абстракции** DSL — позволяет сократить объем решения, повысить его доступность и упростить отладку;
- ▶ упрощение **портирования** — при переносе в другую среду меняется лишь имплементация DSL;
- ▶ легкость в освоении использовании **профильными специалистами**.

## Недостатки DSL

- ▶ **Затраты** на проектирование, имплементацию и сопровождение языка и соответствующих инструментов (напр., поддержки среды разработки);
- ▶ проблема **определения границ** DSL;
- ▶ трудности **интеграции** DSL в программную систему;
- ▶ проблема **стандартизации** языков одной предметной области;
- ▶ **низкая производительность** по сравнению с языками общего назначения.

## Выводы

1. Языки программирования характеризуются синтаксисом (формой) и семантикой (содержанием). Семантика языка может использоваться не только в процессе компиляции / интерпретации, но и при анализе программ, напр., при доказательстве их корректности.
2. Важная часть семантики языка программирования — система типов. ЯП может обладать статической или динамической, строгой или слабой типизацией.
3. Метапрограммирование (порождающее программирование) — парадигма программирования, в которой код программ рассматривается как данные. Основными инструментами метапрограммирования являются рефлексия и использование предметно-ориентированных языков.

# Материалы



Czarnecki, K.; Eisenecker, U. W.  
Generative Programming.



Fowler, M.  
Domain Specific Languages.

<http://martinfowler.com/dsl.html>



Лавріщева К. М.  
Програмна інженерія (підручник).  
К., 2008. — 319 с.

Спасибо за внимание!