

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**

Факультет информатики и систем управления

Кафедра теоретической информатики и компьютерных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой ИУ-9

_____ (И.П. Ива-
нов)

«__» _____ 201__ г.

Расчётно-пояснительная записка

к дипломному проекту

«Функциональный язык программирования с динамической типизацией и
ML-подобным синтаксисом»

Исполнитель: Ю.А. Волкова

Группа: ИУ9-121

Руководитель

квалификационной работы

А.В. Дубанов

Содержание

1	Языки-прототипы	5
1.1	Lisp, Scheme	5
1.2	Prolog	6
1.3	ML, OCaml	7
1.4	Haskell	8
1.5	9
2	Описание языка	10
3	Синтаксис функционального языка программирования	12
3.1	Словарь и представление	12
3.2	Объявление функций	14
3.3	Тело функции	15
3.4	Выражение	15
3.5	Условный оператор	16
3.6	Математическое выражение	17
3.7	Вставки на Scheme	18
3.8	Комментарии	18
4	Реализация языка программирования	19
4.1	Компилятор	19
5	Компоненты среды разработки	20
5.1	Чтение входного потока	20
5.2	Лексический анализ	21
5.3	Синтаксический анализ	22
5.4	Семантический анализ	22

5.5	Генерация кода	22
6	Технико-экономическое обоснование	23
6.1	Трудоемкость разработки программной продукции	24
6.1.1	Трудоемкость разработки технического задания	24
6.1.2	Трудоемкость разработки эскизного проекта	26
6.1.3	Трудоемкость разработки технического проекта	27
6.1.4	Трудоемкость разработки рабочего проекта	28
6.1.5	Трудоемкость выполнения стадии «Внедрение»	31
6.2	Расчет количества исполнителей	32
6.3	Ленточный график выполнения работ	33
6.4	Определение себестоимости программной продукции	34
6.5	Определение стоимости программной продукции	36
6.6	Расчет экономической эффективности	36
6.7	Результаты	37
7	Примеры кода	39
	Список литературы	48

Введение

Ранее, язык программирования был воплощением какой-либо парадигмы, концепции. Сейчас — при разработке языка стремятся добиться удобства. Особое внимание уделяется краткости, удобству написания и чтения кода.

К настоящему времени разработано несколько тысяч языков программирования, из которых около двадцати являются широко распространёнными[1]. У всех есть свои сильные стороны и под конкретные задачи выбирается конкретный язык программирования, наиболее подходящий для этих целей. Так, например, для написания кросс-платформенных приложений используются Java или C++[2]. Для браузерных расширений и сайтов — JavaScript.

Однако, для большинства языков, выигрыш от их выбора не так очевиден. Пользователи языка Python считают код на своём языке простым для понимания, потому что чтение программы на Python напоминает чтение текста на английском языке. Это позволяет сосредоточиться на решении задачи, а не на самом языке. Lisp является программируемым языком программирования, что позволяет изменять и дополнять его под конкретные задачи. Язык OCaml благодаря системе вывода типов позволяет писать высокоэффективные и безопасные приложения.

Анализ текущего состояния в разработке языков программирования показал, что существует необходимость в языке программирования, ориентированном на быстрой разработке сценариев (скриптов), первоначальном обучении программированию и исследовательском программировании.

Для этих целей, на наш взгляд, должен существовать функциональный язык с «дружелюбным» синтаксисом, который подразумевает инфиксную нотацию в записи арифметических выражений.

1 Языки-прототипы

1.1 Lisp, Scheme

Lisp (LISt Processing language) — функциональный язык программирования с динамической типизацией. Он был создан для символьной обработки данных[2]. *Scheme* — диалект Lisp'а, использующий хвостовую рекурсию и статические области видимости переменных[3]. Scheme — высокоуровневый язык общего назначения, поддерживающие операции над такими структурами данных как строки, списки и векторы.

Язык был создан как учебный, однако, в последнее время используется для написания текстовых редакторов, оптимизирующих компиляторов, операционных систем, графических пакетов и экспертных систем, вычислительных приложений и систем виртуальной реальности. Язык оказал сильное влияние на многие современные языки программирования, такие как Haskell (и языки семейства ML в целом), Rust, Python, JavaScript.

В Scheme реализована «сборка мусора».

Все объекты, в том числе функции, являются данными первого порядка, что позволяет присваивать функции переменным, возвращать функции и принимать их в качестве аргументов. Все переменные и ключевые слова объединены в области видимости, а программы на языке имеют блочную структуру.

Как и во многих других языках программирования процедуры на языке Scheme могут быть рекурсивными. Все хвостовые рекурсии оптимизируются.

Scheme поддерживает определение произвольных структур с помощью *продолжений*. Продолжения сохраняют текущее состояние программы и позволяют продолжить выполнение с этого момента из любой точки программы. Этот механизм удобен для перебора с возвратом, многопоточности и сопрограмм.

Scheme также позволяет создавать синтаксические расширения для написания процедур трансформации новых синтаксических форм в существующие[4].

Функции на языке Scheme могут иметь произвольное число аргументов. Тем переменным, наличие которых необходимо, присваиваются имена, а остальные можно получить из списка оставшихся.

В Scheme используется префиксная нотация. Выражения являются списками с оператором во главе этого списка. Такой способ записи позволяет, например, сложить сразу несколько значений. Но выражения с несколькими операторами трудны для восприятия из-за большого количества скобок. Это требует от разработчика использовать специализированные текстовые редакторы, поддерживающие контроль парности скобок и принятый стиль форматирования кода. Таких редакторов немного, и они либо недружелюбны к начинающему программисту (Emacs, vim), либо ориентированы на определённый диалект языка (Racket).

Пример функции вычисления факториала числа, написанный на языке Scheme:

```
1 (define (factorial n)
2   (if (zero? n)
3       1
4       (* n (factorial (- n 1)))))
```

1.2 Prolog

Prolog (PROgramming in LOGic) — язык, объединяющий в себе логическое и алгоритмическое программирование. Этот язык специально разрабатывался для систем обработки естественных языков, исследований искусственного интеллекта и экспертных систем. В настоящее время этот язык применяется не очень широко[1], хотя современный Prolog во многом является языком программиро-

вания общего назначения.

Ключевыми особенностями языка Prolog являются унификация и перебор с возвратом. Унификация показывает как две произвольные структуры могут быть равными. Процессоры Prolog'a используют стратегию поиска, которая пытается найти решение проблемы перебором с возвратом по всем возможным путям, пока один из них не приведёт к решению[5]

Язык использует сопоставление с образцом (в том числе повторное использование). Программа на языке Prolog представляет собой набор фактов и правил.

Входной точкой в программу на языке Prolog является запрос. Ответом на него может быть либо список подошедших шаблонов, либо **false**, означающий, что совпадений не найдено.

1.3 ML, OCaml

ML (Meta Language) — семейство языков с полиморфным выводом типов и обработкой исключений. Языки ML не являются чистыми функциональными языками.

OCaml — самый распространённый в практической работе диалект ML.

Он включает в себя «сборку мусора» для автоматического управления памятью. Как и в Lisp, функции являются объектами первого класса.

OCaml использует статическую проверку типов, что позволяет увеличить скорость сократить количество ошибок во время исполнения. Но присутствует параметрический полиморфизм, что даёт возможность создавать абстракции и работать с разными типами данных. Механизм автоматического вывода типов позволяет избегать тщательного определения типа каждой переменной, вычисляя его по тому как она используется. Кроме того, в OCaml,

как и в Scheme, есть поддержка неизменяемых данных. Также, поддерживаются алгебраические типы данных и сопоставление с образцом, чтобы определять и управлять сложными структурами данных[7].

1.4 Haskell

Haskell — чистый функциональный язык программирования. Это означает, что результат вычислений, производимых функциями не зависит от состояния программы. Он зависит только от набора входных параметров, а значит уже вычисленные значения не изменятся. А значит при следующем вызове функции с таким же набором входных параметров это значение можно уже не вычислять.

Кроме того, Haskell является ленивым, что позволяет не вычислять значения, пока это не нужно.

Haskell обладает статической сильной полной типизацией с автоматическим выводом типов.

Также, Haskell поддерживает функции высшего порядка и частичное применение.

Haskell — краткий и элегантный[8]. В языке отсутствуют лишние ключевые слова такие как **define** в Scheme или **function** в OCaml для определения функций. Также, как в Python вместо скобок, ограничивающих блоки кода (Scheme, C, JavaScript) и разделительных знаков (C, OCaml) в нём используются отступы. Это делает код легче для восприятия, так как сразу видна вложенность. Однако, в отличие от Python, где отступы обязаны быть одинаковыми, в Haskell важно лишь, чтобы отступ вложенной операции был больше родительской.

Короткие программы легче поддерживать. И, как правило, в них меньше возможности допустить ошибку.

1.5

Разрабатываемый язык должен быть содержать минимум ключевых слов и разделяющих знаков, как в Haskell. При этом, он должен быть с динамической типизацией, как Scheme WHY??. В нём должно быть сопоставление с образцом как в OCaml и повторное использование переменных как в Prolog.

2 Описание языка

Разрабатываемый язык должен быть удобен для написания коротких программ, скриптов, а также для первоначального обучения программированию. Поэтому сам язык должен быть максимально краток и понятен для разработчика. В языке должны отсутствовать лишние ключевые слова и управляющие конструкции. Для математических формул обязательна инфиксная нотация.

В разрабатываемом языке есть два вида стрелочек. Стрелка влево (\leftarrow) означает, что фрагменту слева присваивается выражение справа. Эта стрелка используется, например, для присваивания значения функции или простой переменной.

Стрелка вправо (\rightarrow) означает, что из левой части следует правая. Она применяется, например, в условном операторе *if*. В случае выполнения одного из условий при переходе по стрелке после него мы попадём в выражение, которое необходимо вычислить. Другой случай применения этой стрелки – безымянные функции. Так как *lambda*-функции используются только один раз, то мы не можем присвоить им какое-то значение. Такие функции являются преобразованием аргументов в значение. Поэтому после аргументов *lambda*-функции следует стрелка вправо, за которой следует нужное выражение.

Объявление функций состоит из имени функции, её аргументов и тела функции. Аргументами функции могут быть имена переменных, числа, списки и «продолжения». Объявлений у функции может быть несколько. При вызове функции её аргументы сопоставляются с представленными образцами и возвращается значение первого подошедшего варианта. Если в списке аргументов одно имя используется несколько раз, то эти аргументы при проверки будут считаться равными.

«Продолжения» в списке аргументов это списки из 0 и более аргументов,

которые используются, когда количество аргументов функции не известно.

Для определения вложенных конструкций, например, функций внутри функции, должны использоваться отступы. Отступ вложенной конструкции должен быть больше, чем отступ внешней. Это может использоваться и для улучшения восприятия длинных конструкций.

В примере ниже мы видим определение функции *filter*. Она принимает два аргумента. Первый (*pred?*) – предикат. Вторым – список. Как видно в первой строке, в случае, если вторым аргументом – пустой список, то мы получим пустой список. Во второй строке в качестве второго аргумента мы видим список, состоящий из как минимум одного элемента *x* и «продолжения» *xs*. По отступу в третьей строке мы понимаем, что условная конструкция *if* относится ко второй строчке определения функции. В случае, если выполняется условие *pred? x* мы возвращаем конкатенацию списка из одного элемента *x* и результат рекурсивного вызова функции *filter* от того же предиката и окончания списка *xs*. Если условие выполнено не было мы перейдём на четвёртую строчку, где условие отсутствует и мы просто получим вызов функции *filter* от *pred?* и *xs*.

```
1 filter pred? [] <- []
2 filter pred? [x : xs] <-
3     if | pred? x -> [x] ++ filter pred? xs
4       |               -> filter pred? xs
```

Для расширения возможностей языка предусмотрена возможность вставки кода на языке *Scheme*. Для этого пишется ключевое слово *scheme* за которым должна следовать одна конструкция на этом языке. Чтобы использовать функции, определённые таким образом их надо экспортировать, используя ключевое слово *export*, после которого должны следовать имена всех функций, которые вы собираетесь дальше использовать.

3 Синтаксис функционального языка программирования

Для описания синтаксиса языка используются расширенная форма Бэкуса-Наура (РБНФ). Альтернатива обозначается символом '|'. '*' после выражения означает, что оно может быть включено 0 и более раз, '+' - 1 и более, '?' - 0 или 1 раз.[9] Нетерминальные символы начинаются с заглавной буквы. Терминальные либо начинаются малой буквой, либо состоят целиком из заглавных букв. Правила записываются в виде **Идентификатор ::= выражение**, где идентификатор – нетерминал, а выражение – соответствующая правилам РБНФ комбинация терминальных и нетерминальных символов и специальных знаков. Точка в конце — специальный символ, указывающий на завершение правила.

Язык является регистрозависимым.

3.1 Словарь и представление

Существуют следующие виды токенов: идентификатор, число, строка, операторы и ключевые слова. Пробельные символы игнорируются, если они не существенны для разделения двух последовательных токенов.

- Число – целочисленная, вещественная константа, дробь или комплексное число. Число (в том числе дробь и вещественное число) может быть записано в шестнадцатеричной системе счисления.

Примеры чисел: #xA9.F, 4/7, 2+7i, #x7/ad.

- ¹ Digit ::= '0' | '1' | '2' | '3' | '4' | '5' | '6' | '7' | '8' | '9'.
- ² Hexd ::= 'A' | 'B' | 'C' | 'D' | 'E' | 'F' | 'a' | 'b' | 'c' | 'd' | 'e' | 'f'.
- ³ Hdigit ::= Hexd | Digit
- ⁴ Dec ::= ('+' | '-')? Digit+.

```

5 Hex      ::= '#x' Hdigit+.
6 Int      ::= Dec | Hex.
7 Fracdec  ::= Dec '/' Digit+.
8 Frachex  ::= Hex '/' Hdigit+.
9 Frac     ::= Fracdec | Frachex.
10 Expint   ::= Dec 'e' Dec.
11 Realdec  ::= Dec '.' (Digit+ ('e' Dec)? )?.
12 Realhex  ::= Hex '.' Hdigit+
13 Real     ::= Realdec | Realhex.
14 Num      ::= Int | Real | Frac.
15 Complex  ::= Num? ('+' | '-' ) Num 'i '.
16 Number   ::= Num | Complex.

```

- Идентификатор – последовательность символов, исключая пробельные символы, точки, скобки, кавычки, двоеточие. В отличие от большинства языков идентификаторы могут начинаться с цифр. В этом случае идентификатор целиком не должен являться числом.

Примеры идентификаторов: day-of-week, 0->1, nil?, %2!0?.

```

1 Ident     ::= BinarFunc | UnarFunc | SimpleIdent.
2 SimpleIdent ::= (?! [ \ ( \) \ [ \ ] \ { \ } \ . \ : \ " ] | Number | BinarFunc |
   UnarFunc ).
3 BinarFunc ::= 'mod' | 'div' | 'eq?' | 'eqv?' | 'equal?' | 'gcd' | 'lcm' | '
   expt '.
4 UnarFunc  ::= 'zero?' | 'null?' | 'abs' | 'odd?' | 'even?' | 'round' |
5           'reverse' | 'not' | 'sin' | 'cos' | 'tg' | 'ctg' | 'sqrt '.

```

- Строки – последовательности символов, заключённые в двойные(") кавычки.

Примеры строк: "valid string", "it's a beautiful day".

- Булевы константы – константы, отвечающие за истинное и ложное значение.

Истина: `#t`. Ложь: `#f`.

`1 Bool ::= '#t' | '#f'.`

- Операторы и ключевые слова – специальные символы, пары символов и слова, зарезервированные системой.

Список таких символов:

`() [] { } . : \ < <= > >= ! != =`

`- + ++ / // % * ** | || && ^ <- ->`

Список таких слов: `scheme`, `mod`, `if`, `zero?`, `eval`, `abs`, `odd?`, `even?`, `div`, `round`, `reverse`, `null?`, `not`, `sin`, `cos`, `tg`, `ctg`, `eq?`, `eqv?`, `equal?`, `gcd`, `lcm`, `expt`, `sqrt`.

3.2 Объявление функций

Функции делятся на именованные и безымянные λ -функции. Объявление именованных функций (FunctionDefinition) состоит из имени функции, её аргументов, знака присваивания \leftarrow и тела функции. Аргументами функции при объявлении могут быть

- идентификаторы, не являющиеся ключевыми словами (SimpleIdent);
- числа (Number);
- списки, не содержащие выражений (ListDeclaration);
- и «продолжение» (ContinuousDeclaration) – этот элемент может быть в списке аргументов только последним и он заменяет все аргументы,

которые могут быть переданы в эту функцию после уже объявленных.

```
1 FunctionDefinition ::= FunctionDeclaration '<-' FunctionBody .
2 FunctionDeclaration ::= SimpleIdent ArgumentDeclaration? .
3 ArgumentDeclaration ::= SimpleArgument* ContinuousDeclaration?
4 SimpleArgument ::= SimpleIdent | Number | ListDeclaration .
5 ListDeclaration ::= '[' ArgumentDeclaration? ']'.
6 ContinuousDeclaration ::= ':' SimpleIdent | ListDeclaration .
```

Объявление безымянных функций (LambdaFunction) похоже на объявление именных. Вместо идентификатора, отвечающего за имя функции, используется символ \.

```
1 LambdaFunction ::= '\ ' ArgumentDeclaration? '->' FunctionBody .
```

3.3 Тело функции

Тело функции, также может содержать в себе определения функций. Тело функции обязательно содержит выражение. Выражений может быть несколько, но вернёт функция только последнее выражение.

Все выражения и определения внутри тела функции должны иметь больший отступ, чем имя этой функции.

```
1 FunctionBody ::= FunctionDefinition* Expression+.
```

3.4 Выражение

Выражение (Expression) может быть

- условным выражением (IfExpression);
- безымянной функцией (LambdaFunction);

- математическим выражением (`MathExpression`).

```
1 Expression ::= IfExpression | LambdaFunction | MathExpression .
```

3.5 Условный оператор

Условный оператор *if* похож на оператор *cond* в *Scheme*. Структура его аргументов устроена следующим образом:

1. после вертикальной черты следует условие. В случае если условие отсутствует, считается, что условие истинно. Таким образом, опустив условие можно организовать ветку *else* для привычных условных операторов или *default* для *switch – case* оператора;
2. после стрелочки следует выражение, которое выполнится, если условие перед стрелочкой было выполнено. Если условие было выполнено, то после вычисления выражения действие оператора заканчивается и остальные условия не проверяются. Если условие выполнено не было – переходим к проверке следующего условия.

```
1 IfExpression ::= 'if' ( '|' Expression? '->' Expression )+.
```

Пример использования конструкции *if*:

```
1 sign-if x <-
2   if   | x > 0 -> 1
3       | x = 0 -> 0
4       |           -> -1
```


3.6 Математическое выражение

Математическое выражение может быть

- строкой или конкатинацией строк (StringExpression);
- вызовом функции (FunctionCall) или применением функции (FunctionApply);
- списком или конкатинацией списков (ListExpression). Элементы списка при этом не могут содержать вызов функции. Поэтому, если это необходимо, то нужно использовать применение функции к списку аргументов.
- объединение математических выражений с помощью операторов и скобок.

```
1 MathExpression ::= StringExpression | ListExpression | Number | Bool |
2               FunctionApply | FunctionCall |
3               (MathExpression BinoryOperator MathExpression) |
4               ('(' MathExpression ')') |
5               (UnarOperator MathExpression).
6 StringExpression ::= String ('++' StringExpression)*.
7 ListExpression  ::= List ('++' ListExpression).
8 List           ::= '[' ArgumentExpression? ']'.
9 ArgumentExpression ::= ComplexArgument* ContinuousExpression?.
10 ComplexArgument ::= Ident | FunctionApply | StringExpression | Number |
11                 (ComplexArgument BinoryOperator ComplexArgument) |
12                 ListExpression | ('(' ComplexArgument ')').
13 FunctionCall    ::= Ident ArgumentExpression?.
14 FunctionApply   ::= Ident '.' (Ident | ListExpression).
15 BinoryOperator  ::= '+' | '++' | '-' | '*' | '**' | '/' | '//' | '%' |
16                 '=' | '!=' | '>' | '<' | '<=' | '>=' | '&&' | '||'.
17 UnarOperator    ::= '+' | '-' | '!'.
```

3.7 Вставки на Scheme

Для использования кода на *Scheme* необходимо написать ключевое слово *scheme*. После него может следовать только одна конструкция на *Scheme*, заключённая в скобки. Если необходимо описать сразу несколько конструкций, то нужно либо объединить их в конструкцию *begin*, либо писать ключевое слово *scheme* перед каждой.

`1 Scheme ::= 'scheme' SchemeCode .`

Если необходимо использовать функции, описанные на языке *Scheme* в дальнейшем коде, то нужно их экспортировать. Сделать это можно с помощью ключевого слова *export*. После него должны быть перечислены имена всех функций, которые будут использоваться.

`1 Export ::= 'export' Ident+.`

3.8 Комментарии

Любая последовательность символов после символа `;` и до символа переноса строки является комментарием и будет проигнорирована компилятором.

4 Реализация языка программирования

4.1 Компилятор

5 Компоненты среды разработки

Компилятор языка состоит из пяти основных компонентов. К ним относятся: чтение входного потока, лексический, синтаксический и семантический анализаторы и генератор кода.

5.1 Чтение входного потока

На этом этапе происходит чтение текста программы из файла и предварительное его разделение на «слова».

«Словом» является:

- любая последовательность символов, заключённая в двойные кавычки;
- любой терминальный символ (символ переноса строки, пробел, табуляция, окончание файла);
- последовательность символов, образующая слово *scheme*, если она не входит в состав другого «слова»;
- последовательность символов, заключённых в круглые скобки, следующая за словом *scheme* и отделённая от него одним или несколькими «словами», являющимися терминальными символами;
- любая иная последовательность символов, не содержащая терминальных символов.

После этого этапа мы получаем список «слов», который подаётся на вход лексическому анализатору.

5.2 Лексический анализ

На этом этапе осуществляется преобразование последовательности «слов» в последовательность токенов. Это происходит по следующей схеме.

Сначала проверяется, входит ли данное «слово» в список ключевых слов. Если проверка оказывается успешной, то вычисляются координаты и создаётся токен с тэгом **tag-kw**, значением которого будет являться само «слово». При этом, если ключевое слово является словом *scheme*, то ближайшее следующее за ним нетерминальное слово будет значением нового токена с тэгом **tag-schm**.

Затем осуществляется проверка является ли «слово» корректным числом. Если так, то высчитываются его координаты и создаётся токен с числовым тэгом. Значению этого токена присваивается вычисленное на этапе проверки число.

После этого проверяется, является ли «слово» «строкой», то есть последовательностью символов, заключённых в кавычки. Аналогично предыдущим пунктам вычисляются координаты и создаётся новый токен с тэгом **tag-str**.

В случае, если ни одна из этих проверок не увенчалась успехом, данное «слово» преобразуется в последовательность символов и дальнейшая проверка будет по-символьной.

Если среди последовательности символов нам встретился символ `;`, дальнейшие символы этого «слова» и последующих игнорируются, пока не встретится символ переноса строки.

Если среди последовательности символов встречается один из следующих: `() [] { } . : ,`, то эта последовательность разбивается на три части:

1. сам символ;
2. последовательность символов до него (возможно, пустая);

3. последовательность символов после (возможно, пустая).

Первая часть преобразуется в токен, с тэгом, соответствующем символу. Вторая и третья подвергаются анализу как отдельные «слова».

Для каждого элемента группы символов \ < ^ # !, существует свой тэг. Но он останется у токена, только если этот символ был в «слове» единственным.

Итоговый тэг для следующей группы символов: - + * t f / > | & = определяется по тому является ли символ первым в слове или он следует за каким-то другим. Например, символ — может получить тэг **tag-mns**, если этот символ в слове первый. Если перед ним в «слове» стоит символ < с тэгом **tag-lwr**, то итоговый тэг изменится на **tag-to**. Но если перед символом — стоит какой-то другой символ или последовательность, то итоговый тэг будет — **tag-sym**, и вся эта последовательность станет токеном идентификатора.

5.3 Синтаксический анализ

5.4 Семантический анализ

5.5 Генерация кода

6 Технико-экономическое обоснование

Разработка программного обеспечения — достаточно трудоемкий и длительный процесс, требующий выполнения большого числа разнообразных операций. Организация и планирование процесса разработки программного продукта или программного комплекса при традиционном методе планирования предусматривает выполнение следующих работ:

- формирование состава выполняемых работ и группировка их по стадиям разработки;
- расчет трудоемкости выполнения работ;
- установление профессионального состава и расчет количества исполнителей;
- определение продолжительности выполнения отдельных этапов разработки;
- построение календарного графика выполнения разработки;
- контроль выполнения календарного графика.

Трудоемкость разработки программной продукции зависит от ряда факторов, основными из которых являются следующие: степень новизны разрабатываемого программного комплекса, сложность алгоритма его функционирования, объем используемой информации, вид ее представления и способ обработки, а также уровень используемого алгоритмического языка программирования. Чем выше уровень языка, тем трудоемкость меньше.

По степени новизны разрабатываемый проект относится к *группе новизны В* — разработка программной продукции, имеющей аналоги.

По степени сложности алгоритма функционирования проект относится к *3 группе сложности* - программная продукция, реализующая алгоритмы стандартных методов решения задач.

По виду представления исходной информации и способа ее контроля программный продукт относится к *группе 12* - исходная информация представлена в форме документов, имеющих различный формат и структуру и *группе 22* - требуется печать документов одинаковой формы и содержания, вывод массивов данных на машинные носители.

6.1 Трудоемкость разработки программной продукции

Трудоемкость разработки программной продукции (τ_{PP}) может быть определена как сумма величин трудоемкости выполнения отдельных стадий разработки программного продукта из выражения:

$$\tau_{PP} = \tau_{TZ} + \tau_{EP} + \tau_{TP} + \tau_{RP} + \tau_V,$$

где τ_{TZ} — трудоемкость разработки технического задания на создание программного продукта; τ_{EP} — трудоемкость разработки эскизного проекта программного продукта; τ_{TP} — трудоемкость разработки технического проекта программного продукта; τ_{RP} — трудоемкость разработки рабочего проекта программного продукта; τ_V — трудоемкость внедрения разработанного программного продукта.

6.1.1 Трудоемкость разработки технического задания

Расчёт трудоёмкости разработки технического задания (τ_{TZ}) [чел.-дни] производится по формуле:

$$\tau_{TZ} = T_{RZ}^Z + T_{RP}^Z,$$

где T_{RZ}^Z — затраты времени разработчика постановки задачи на разработку ТЗ, [чел.-дни]; T_{RP}^Z — затраты времени разработчика программного обеспечения на разработку ТЗ, [чел.-дни]. Их значения рассчитываются по формулам:

$$T_{RZ}^Z = t_Z * K_{RZ}^Z,$$

$$T_{RP}^Z = t_Z * K_{RP}^Z,$$

где t_Z — норма времени на разработку ТЗ на программный продукт (зависит от функционального назначения и степени новизны разрабатываемого программного продукта), [чел.-дни]. В нашем случае по таблице получаем значение (группа новизны — В, функциональное назначение — технико-экономическое):

$$t_Z = 37.$$

K_{RZ}^Z — коэффициент, учитывающий удельный вес трудоемкости работ, выполняемых разработчиком постановки задачи на стадии ТЗ. В нашем случае (совместная разработка с разработчиком ПО):

$$K_{RZ}^Z = 0.65.$$

K_{RP}^Z — коэффициент, учитывающий удельный вес трудоемкости работ, выполняемых разработчиком программного обеспечения на стадии ТЗ. В нашем случае (совместная разработка с разработчиком постановки задач):

$$K_{RP}^Z = 0.35.$$

Тогда:

$$\tau_{TZ} = 37 * (0.35 + 0.65) = 37.$$

6.1.2 Трудоемкость разработки эскизного проекта

Расчёт трудоёмкости разработки эскизного проекта (τ_{EP}) [чел.-дни] производится по формуле:

$$\tau_{EP} = T_{RZ}^E + T_{RP}^E,$$

где T_{RZ}^E — затраты времени разработчика постановки задачи на разработку эскизного проекта (ЭП), [чел.-дни]; T_{RP}^E — затраты времени разработчика программного обеспечения на разработку ЭП, [чел.-дни]. Их значения рассчитываются по формулам:

$$T_{RZ}^E = t_E * K_{RZ}^E,$$

$$T_{RP}^E = t_E * K_{RP}^E,$$

где t_E — норма времени на разработку ЭП на программный продукт (зависит от функционального назначения и степени новизны разрабатываемого программного продукта), [чел.-дни]. В нашем случае по таблице получаем значение (группа новизны — В, функциональное назначение — технико-экономическое):

$$t_E = 77.$$

K_{RZ}^E — коэффициент, учитывающий удельный вес трудоемкости работ, выполняемых разработчиком постановки задачи на стадии ЭП. В нашем случае (совместная разработка с разработчиком ПО):

$$K_{RZ}^E = 0.7.$$

K_{RP}^E — коэффициент, учитывающий удельный вес трудоемкости работ, выполняемых разработчиком программного обеспечения на стадии ТЗ. В нашем случае (совместная разработка с разработчиком постановки задач):

$$K_{RP}^E = 0.3.$$

Тогда:

$$\tau_{EP} = 77 * (0.3 + 0.7) = 77.$$

6.1.3 Трудоемкость разработки технического проекта

Трудоёмкость разработки технического проекта (τ_{TP}) [чел.-дни] зависит от функционального назначения программного продукта, количества разновидностей форм входной и выходной информации и определяется по формуле:

$$\tau_{TP} = (t_{RZ}^T + t_{RP}^T) * K_V * K_R,$$

где t_{RZ}^T — норма времени, затрачиваемого на разработку технического проекта (ТП) разработчиком постановки задач, [чел.-дни]; t_{RP}^T — норма времени, затрачиваемого на разработку ТП разработчиком ПО, [чел.-дни]. По таблице принимаем (функциональное назначение — технико-экономическое планирование, количество разновидностей форм входной информации — 1 (файл с текстом программы на исходном языке), количество разновидностей форм выходной информации — 1 (файл с текстом программы на языке Scheme)):

$$t_{RZ}^T = 30,$$

$$t_{RP}^T = 8.$$

K_R — коэффициент учета режима обработки информации. По таблице принимаем (группа новизны — В, режим обработки информации — реальный масштаб времени):

$$K_R = 1.26.$$

K_V — коэффициент учета вида используемой информации, определяется по формуле:

$$K_V = \frac{K_P * n_P + K_{NS} * n_{NS} + K_B * n_B}{n_P + n_{NS} + n_B},$$

где K_P — коэффициент учета вида используемой информации для переменной информации; K_{NS} — коэффициент учета вида используемой информации для нормативно-справочной информации; K_B — коэффициент учета вида используемой информации для баз данных; n_P — количество наборов данных переменной информации; n_{NS} — количество наборов данных нормативно-справочной информации; n_B — количество баз данных. Коэффициенты находим по таблице (группа новизны - В):

$$K_P = 1.00,$$

$$K_{NS} = 0.72,$$

$$K_B = 2.08.$$

Количество наборов данных, используемых в рамках задачи:

$$n_P = 10,$$

$$n_{NS} = 0,$$

$$n_B = 0.$$

Находим значение K_V :

$$K_V = \frac{1.00 * 10 + 0.72 * 0 + 2.08 * 1}{10 + 0 + 1} = 1.098.$$

Тогда:

$$\tau_{TP} = (30 + 8) * 1.098 * 1.26 = 53.$$

6.1.4 Трудоемкость разработки рабочего проекта

Трудоёмкость разработки рабочего проекта (τ_{RP}) [чел.-дни] зависит от функционального назначения программного продукта, количества разновидностей форм входной и выходной информации, сложности алгоритма функцио-

нирования, сложности контроля информации, степени использования готовых программных модулей, уровня алгоритмического языка программирования и определяется по формуле:

$$\tau_{RP} = (t_{RZ}^R + t_{RP}^R) * K_K * K_R * K_Y * K_Z * K_{IA},$$

где t_{RZ}^R — норма времени, затраченного на разработку рабочего проекта на алгоритмическом языке высокого уровня разработчиком постановки задач, [чел.-дни]. t_{RP}^R — норма времени, затраченного на разработку рабочего проекта на алгоритмическом языке высокого уровня разработчиком ПО, [чел.-дни]. По таблице принимаем (функциональное назначение — технико-экономическое планирование, количество разновидностей форм входной информации — 1 (файл с текстом программы на исходном языке), количество разновидностей форм выходной информации — 1 (файл с текстом программы на языке Scheme)):

$$t_{RZ}^R = 8,$$

$$t_{RP}^R = 51.$$

K_K — коэффициент учета сложности контроля информации. По таблице принимаем (степень сложности контроля входной информации — 12, степень сложности контроля выходной информации — 22):

$$K_K = 1.00.$$

K_R — коэффициент учета режима обработки информации. По таблице принимаем (группа новизны — В, режим обработки информации — реальный масштаб времени):

$$K_R = 1.26.$$

K_Y — коэффициент учета уровня используемого алгоритмического языка программирования. По таблице принимаем значение (интерпретаторы, языковые описатели):

$$K_Y = 0.8.$$

K_Z — коэффициент учета степени использования готовых программных модулей. По таблице принимаем (использование готовых программных модулей составляет менее 25

$$K_Z = 0.8.$$

K_{IA} — коэффициент учета вида используемой информации и сложности алгоритма программного продукта, его значение определяется по формуле:

$$K_{IA} = \frac{K'_P * n_P + K'_{NS} * n_{NS} + K'_B * n_B}{n_P + n_{NS} + n_B},$$

где K'_P — коэффициент учета сложности алгоритма ПП и вида используемой информации для переменной информации; K'_{NS} — коэффициент учета сложности алгоритма ПП и вида используемой информации для нормативно-справочной информации; K'_B — коэффициент учета сложности алгоритма ПП и вида используемой информации для баз данных. n_P — количество наборов данных переменной информации; n_{NS} — количество наборов данных нормативно-справочной информации; n_B — количество баз данных. Коэффициенты находим по таблице (группа новизны - В):

$$K'_P = 1.00,$$

$$K'_{NS} = 0.48,$$

$$K'_B = 0.4.$$

Количество наборов данных, используемых в рамках задачи:

$$n_P = 10,$$

$$n_{NS} = 0,$$

$$n_B = 1.$$

Находим значение K_{IA} :

$$K_{IA} = \frac{1.00 * 10 + 0.48 * 0 + 0.4 * 1}{10 + 0 + 1} = 0.945.$$

Тогда:

$$\tau_{RP} = (8 + 51) * 1.00 * 1.26 * 0.8 * 0.8 * 0.945 = 45.$$

6.1.5 Трудоемкость выполнения стадии «Внедрение»

Расчёт трудоёмкости разработки технического проекта (τ_V) [чел.-дни] производится по формуле:

$$\tau_V = (t_{RZ}^V + t_{RP}^V) * K_K * K_R * K_Z,$$

где t_{RZ}^V — норма времени, затрачиваемого разработчиком постановки задач на выполнение процедур внедрения программного продукта, [чел.-дни]; t_{RP}^V — норма времени, затрачиваемого разработчиком программного обеспечения на выполнение процедур внедрения программного продукта, [чел.-дни]. По таблице принимаем (функциональное назначение — технико-экономическое планирование, количество разновидностей форм входной информации — 1 (файл с текстом программы на исходном языке), количество разновидностей форм выходной информации — 1 (файл с текстом программы на языке Scheme)):

$$t_{RZ}^V = 9,$$

$$t_{RP}^V = 11.$$

Коэффициент K_K и K_Z были найдены выше:

$$K_K = 1.00,$$

$$K_Z = 0.8.$$

K_R — коэффициент учета режима обработки информации. По таблице принимаем (группа новизны — В, режим обработки информации — реальный масштаб времени):

$$K_R = 1.26.$$

Тогда:

$$\tau_V = (9 + 11) * 1.00 * 1.26 * 0.8 = 21.$$

Общая трудоёмкость разработки ПП:

$$\tau_{PP} = 37 + 77 + 53 + 45 + 21 = 233.$$

6.2 Расчет количества исполнителей

Средняя численность исполнителей при реализации проекта разработки и внедрения ПО определяется соотношением:

$$N = \frac{t}{F},$$

где t — затраты труда на выполнение проекта (разработка и внедрение ПО); F — фонд рабочего времени. Разработка велась 5 месяцев с 1 января 2016 по 31 мая 2016. Количество рабочих дней по месяцам приведено в таблице 1. Из таблицы получаем, что фонд рабочего времени

$$F = 96.$$

Таблица 1: Количество рабочих дней по месяцам

Номер месяца	Интервал дней	Количество рабочих дней
1	01.01.2016 - 31.01.2016	15
3	01.02.2016 - 29.02.2016	20
4	01.03.2016 - 31.03.2016	21
5	01.04.2016 - 30.04.2016	21
6	01.05.2016 - 31.05.2016	19
Итого		96

Получаем число исполнителей проекта:

$$N = \frac{233}{96} = 3$$

Для реализации проекта потребуются 1 старший инженер и 2 простых инженера.

6.3 Ленточный график выполнения работ

На основе рассчитанных в главах 6.1, 6.2 трудоёмкости и фонда рабочего времени найдём количество рабочих дней, требуемых для выполнения каждого этапа разработки. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2: Трудоёмкость выполнения работы над проектом

Номер стадии	Название стадии	Трудоёмкость [чел.-дни]	Удельный вес [%]	Количество рабочих дней
1	Техническое задание	37	11	10
2	Эскизный проект	77	24	23
3	Технический проект	53	35	34
4	Рабочий проект	45	25	24
5	Внедрение	21	5	5
Итого		233	100	96

Планирование и контроль хода выполнения разработки проводится по ленточному графику выполнения работ. По данным в таблице 2 в ленточный гра-

фик (таблица 3), в ячейки столбца “продолжительности рабочих дней” заносятся времена, которые требуются на выполнение соответствующего этапа. Все исполнители работают одновременно.

Таблица 3: Ленточный график выполнения работ

Номер стадии	Продолжительность [раб.-дни]	Календарные дни																							
		Количество рабочих дней																							
		01.01.2016 - 03.01.2016	04.01.2016 - 10.01.2016	11.01.2016 - 17.01.2016	18.01.2016 - 24.01.2016	25.01.2016 - 31.01.2016	01.02.2016 - 07.02.2016	08.02.2016 - 14.02.2016	15.02.2016 - 21.02.2016	22.02.2016 - 28.02.2016	29.02.2016 - 06.03.2016	07.03.2016 - 13.03.2016	14.03.2016 - 20.03.2016	21.03.2016 - 27.03.2016	28.03.2016 - 03.04.2016	04.04.2016 - 10.04.2016	11.04.2016 - 17.04.2016	18.04.2016 - 24.04.2016	25.04.2016 - 01.05.2016	02.05.2016 - 08.05.2016	08.05.2016 - 15.05.2016	16.05.2016 - 22.05.2016	23.05.2016 - 29.05.2016	30.05.2016 - 31.05.2016	
1	10			5	5																				
2	23					5	5	5	6	2															
3	34									1	5	3	5	5	5	5									
4	24																5	5	3	4	5	2			
5	5																					3	2		

6.4 Определение себестоимости программной продукции

Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), состоят из затрат на заработную плату исполнителям, затрат на закупку или аренду оборудования, затрат на организацию рабочих мест, и затрат на накладные расходы.

В таблице 4 приведены затраты на заработную плату и отчисления на социальное страхование в пенсионный фонд, фонд занятости и фонд обязательного медицинского страхования (30.5 %). Для старшего инженера предполагается оклад в размере 120000 рублей в месяц, для инженера предполагается оклад в размере 100000 рублей в месяц.

Таблица 4: Затраты на зарплату и отчисления на социальное страхование

Должность	Зарплата в месяц	Рабочих месяцев	Суммарная зарплата	Затраты на социальные нужды
Старший инженер	120000	5	600000	183000
Инженер	100000	5	500000	152500
Инженер	100000	5	500000	152500
Суммарные затраты			2088000	

Расходы на материалы, необходимые для разработки программной продукции, указаны в таблице 5.

Таблица 5: Затраты на материалы

Наименование материала	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага А4	Пачка 400 л.	2	200	400
Картридж для принтера HP F4275	Шт.	2	675	1350
Суммарные затраты				1750

В работе над проектом используется специальное оборудование — персональные электронно-вычислительные машины (ПЭВМ) в количестве 9 шт. Стоимость одной ПЭВМ составляет 90000 рублей. Месячная норма амортизации $K = 2,7\%$. Тогда за 5 месяцев работы расходы на амортизацию составят $P = 90000 * 3 * 0.027 * 5 = 36450$ рублей.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_n = A_n * C_z$$

$$N = 2.1 * 1600000 = 3360000$$

Общие затраты на разработку программного продукта (ПП) составят

$$2088000 + 1750 + 36450 + 3360000 = 5486200 \text{ рублей.}$$

6.5 Определение стоимости программной продукции

Для определения стоимости работ необходимо на основании плановых сроков выполнения работ и численности исполнителей рассчитать общую сумму затрат на разработку программного продукта. Если ПП рассматривается и создается как продукция производственно-технического назначения, допускающая многократное тиражирование и отчуждение от непосредственных разработчиков, то ее цена P определяется по формуле:

$$P = K * C + Pr,$$

где C — затраты на разработку ПП (сметная себестоимость); K — коэффициент учёта затрат на изготовление опытного образца ПП как продукции производственно-технического назначения ($K = 1.1$); Pr — нормативная прибыль, рассчитываемая по формуле:

$$Pr = \frac{C * \rho_N}{100},$$

где ρ_N — норматив рентабельности, $\rho_N = 30\%$;

Получаем стоимость программного продукта:

$$P = 1.1 * 5486200 + 5486200 * 0.3 = 7680680 \text{ рублей.}$$

6.6 Расчет экономической эффективности

Основными показателями экономической эффективности является чистый дисконтированный доход (NPV) и срок окупаемости вложенных средств. Чистый дисконтированный доход определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) * \frac{1}{(1 + E)^t},$$

где T — горизонт расчета по месяцам; t — период расчета; R_t — результат, достигнутый на t шаге (стоимость); Z_t — текущие затраты (на шаге t); E — приемлемая для инвестора норма прибыли на вложенный капитал.

На момент начала 2016 года, ставка рефинансирования 11% годовых (ЦБ РФ), что эквивалентно (0.916% в месяц). В виду особенности разрабатываемого продукта он может быть продан лишь однократно. Отсюда получаем

$$E = 0.00916.$$

В таблице 6 находится расчёт чистого дисконтированного дохода. График его изменения приведён на рисунке 1.

Таблица 6: Расчёт чистого дисконтированного дохода

Месяц	Текущие затраты, руб.	Затраты с начала года, руб.	Текущий доход, руб.	ЧДД, руб.
Январь	1096890	1096890	0	-1096890
Февраль	1096890	2193780	0	-2183823.7
Март	1096890	3290670	0	-3260891.4
Апрель	1096890	4387560	0	-4328182.7
Мая	1098640	5486200	7680680	2019802

Согласно проведенным расчетам, проект является рентабельным. Разрабатываемый проект позволит превысить показатели качества существующих систем и сможет их заменить. Итоговый ЧДД составил: 2019802 рубля.

6.7 Результаты

В рамках организационно-экономической части был спланирован календарный график проведения работ по созданию подсистемы поддержки проведения диагностики промышленных, а также были проведены расчеты по трудозатратам. Были исследованы и рассчитаны следующие статьи затрат: мате-

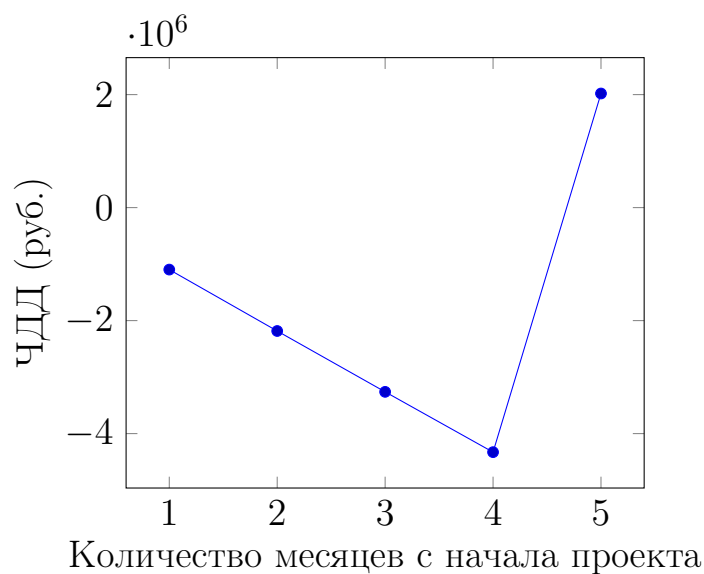


Рисунок 1 — График изменения чистого дисконтированного дохода

риальные затраты; заработная плата исполнителей; отчисления на социальное страхование; накладные расходы.

В результате расчетов было получено общее время выполнения проекта, которое составило 96 рабочих дней, получены данные по суммарным затратам на создание и разработку функционального языка, которые составили 5486200 рублей. Согласно проведенным расчетам, проект является рентабельным. Цена данного программного проекта составила 7680680 рублей, итоговый ЧДД составил 2019802 рублей.

7 Примеры кода

```
1 ; count days of week
2 day-of-week day month year <-
3     a <- (14 - month) // 12
4     y <- year - a
5     m <- month + (a * 12) - 2
6
7     (7000 + day + y + (y // 4) + (y // 400) + (31 * m // 12)
8         - (y // 100)) % 7
9
10 day-of-week 17 5 2016
11 day-of-week 10 4 2016
12 day-of-week 29 3 2016
13 day-of-week 20 4 2016
14
15 0->1 [] <- []
16 0->1 [0 : xs] <- [1 : 0->1 xs]
17 0->1 [x : xs] <- [x : 0->1 xs]
18
19 0->1 [0 2 7 0 5]
20 0->1 [0 1 0 1 0]
21
22 ; count x in xs
23 count x [] <- 0
24 count x [ x : xs ] <- 1 + count x xs
25 count x [ y : xs ] <- count x xsповторные
26 ; переменные в образцах
27
28 count 1 [1 2 3 1]
29 count 0 [1 2 3 4]
30 count 5 [1 2 3 4 5 5 5]
```

```

31
32 fact 0 <- 1
33 fact n <- n * fact (n - 1)
34
35 fact 5
36 fact 10
37
38 sum <- 0
39 sum x : xs <- x + sum . xs
40
41 sum 1 2 3 4
42 sum.[5 6 7 8 9 10]
43
44 replace pred? proc [] <- []
45 replace pred? proc [ x : xs ] <-
46     if | pred? x -> [ proc.[x] : replace pred? proc xs ]
47     | -> [ x : replace pred? proc xs ]
48
49 replace zero?
50     \ x -> x + 1
51     [ 0 1 2 3 0 ]
52
53 replace odd?
54     \ x -> x * 2
55     [ 1 2 3 4 5 6 ]
56
57 replace \ x -> 0 > x
58     exp
59     [ 0 1 -1 2 -2 3 -3]
60
61 replicate x 0 <- []
62 replicate x n <- [ x : replicate x ( n - 1 ) ]

```



```

63
64 replicate "a" 5
65 replicate [ "a" "b" ] 3
66 replicate "a" 0
67
68 cycle xs 0 <- []
69 cycle xs n <- xs ++ cycle xs ( n - 1 )
70
71 cycle [ 0 1 ] 3
72 cycle [ 'a' 'b' 'c' ] 5
73 cycle [] 0
74
75 and-fold      <- #t
76 and-fold x : xs <- x && and-fold : xs
77
78 and-fold #f #f #f
79 and-fold #f #f #t
80 and-fold #f #t #t
81 and-fold #t #t #t
82 and-fold
83
84 0? 0 <- #t
85 0? x <- #f
86
87 nil? 0 <- #t
88 nil? [] <- #t
89 nil? x <- #f
90
91 %2=0? x <- x % 2 = 0
92 %2!0? x <- ! %2=0? x
93
94 0? 0

```

```

95 0? 1
96
97 nil? 0
98 nil? 1
99 nil? []
100 nil? [1 2 3]
101
102 %2=0? 4
103 %2=0? 5
104
105 %2!0? 1
106 %2!0? 2
107
108 scheme (define (selection-sort pred? xs)
109     (define (min-xs xs x)
110         (cond ((null? xs) x)
111               ((pred? (car xs) x) (min-xs (cdr xs) (car xs)))
112               (else (min-xs (cdr xs) x))))
113
114     (define (swap j xs)
115         (let ((xj (list-ref xs j))
116               (vs (list->vector xs)))
117             (vector-set! vs j (car xs))
118             (vector-set! vs 0 xj)
119             (vector->list vs)))
120
121     (define (ind x xs)
122         (- (length xs) (length (member x xs))))
123
124     (define (helper xs)
125         (if (null? xs)
126             '()

```

```

127         (let ((x (min-xs xs (car xs))))
128             (cons x (helper (cdr (swap (ind x xs) xs)))))))
129
130     (helper xs))
131 scheme (define (insertion-sort pred? xs)
132     (define (insert xs ys x)
133         (cond ((null? ys) (append xs (list x)))
134               ((pred? (car ys) x) (insert (append xs (list (car ys)))
135                                           ) (cdr ys) x))
135               (else (append xs (list x) ys))))
136
137     (define (helper xs ys)
138         (if (null? ys)
139             xs
140             (helper (insert '() xs (car ys)) (cdr ys))))
141
142     (helper '() xs))
143
144 export selection-sort insertion-sort
145
146 selection-sort \ x y -> x <= y
147             [9 6 2 4 3 5 7 1 8 0]
148 insertion-sort \ x y -> x <= y
149             [9 6 2 4 3 5 7 1 8 0]
150
151 str <- "long string"
152 replicate str 8
153
154 my-gcd a b <-
155     r <- a % b
156
157     if | a < b -> my-gcd b a

```

```

158         | 0? r -> b
159         | -> my-gcd b r
160
161 my-lcm a b <-
162     abs (a * b / my-gcd a b)
163
164 prime? n <-
165     n! 0 <- 1
166     n! n <- n * n! (n - 1)
167
168     0?.[ (n!.[n - 1] + 1) % n ]
169
170 my-gcd 3542 2464
171 my-lcm 3 4
172 prime? 11
173 prime? 12
174
175 bisection f a b e <-
176     sign 0 <- 0
177     sign x <- if | x > 0 -> 1
178                 | -> -1
179
180     mid a b <-
181         x <- a + (b - a) / 2
182
183         if | (abs f x) <= e -> x
184            | (sign f.[b]) = (sign f.[x]) -> mid a x
185            | -> mid x b
186
187     if | f.[a] = 0 -> a
188        | f.[b] = 0 -> b
189        | -> mid a b

```

```

190
191 bisection cos -3.0 0.0 0.001
192
193 newton f df x e <-
194     if | (abs f x) < e -> x
195         |
196             -> newton f df (x - f.[x] / df.[x]) e
197
198 golden f x0 x1 e <-
199     fi <- ((sqrt 5) + 1) / 2
200
201 loop f x0 x1 e <-
202     a <- x1 - (x1 - x0) / fi
203     b <- x0 + (x1 - x0) / fi
204
205     if | f.[a] >= f.[b] ->
206         if | (abs x1 - a) < e -> (a + x1) / 2
207             |
208                 -> loop f a x1 e
209         | ->
210             if | (abs b - x0) < e -> (x0 + b) / 2
211                 |
212                     -> loop f x0 b e
213
214 loop f x0 x1 e
215
216 round newton \ x -> x ** 2
217     \ x -> 2 * x
218     1.0
219     1e-8
220
221 round newton \ x -> x ** 2 + 4 * x + 4
222     \ x -> 2 * x + 4
223     5.0
224     1e-8

```

```

222
223 round golden \ x -> x ** 2
224         -2.0
225         2.0
226         1e-08
227
228 round golden \ x -> x ** 2 + 4 * x + 4
229         -5.0
230         5.0
231         1e-06
232
233 5 + 6
234
235 ! 8
236
237 range a b d <-
238     if | a < b -> [a] ++ range (a + d) b d
239     |         -> []
240
241 flatten [] <- []
242 flatten [x : xs] <- flatten x ++ flatten xs
243 flatten x <- [x]
244
245 element? x [] <- #f
246 element? x [x : xs] <- #t
247 element? x [y : ys] <- element? x ys
248
249 filter pred? [] <- []
250 filter pred? [x : xs] <-
251     if | pred? x -> [x] ++ filter pred? xs
252     |         -> filter pred? xs
253

```

```
254 range 0 11 3
255 flatten [[1] 2 [3 [4 5] [6 [7 8]]] 9]
256 element? 1 [3 2 1]
257 element? 4 [3 2 1]
258 filter odd?
259         range.[0 10 1]
260 filter \ x -> x % 3 = 0
261         range.[0 13 1]
```

Список литературы

- [1] *[http : //www.tiobe.com/tiobe_index](http://www.tiobe.com/tiobe_index)*
- [2] Peter Seibel. Practical Common Lisp. Publication Date: April 6, 2005
- [3] *[http : //www.schemers.org/Documents/Standards/R5RS/HTML/](http://www.schemers.org/Documents/Standards/R5RS/HTML/)*
- [4] R. Kent Dybvig. The Scheme Programming Language, Fourth Edition. The MIT Press. 2009
- [5] Information technology — Programming languages — Prolog. 1995
- [6] A Byte of Python, <http://python.swaroopch.com/>
- [7] Yaron Minsky, Anil Madhavapeddy, Jason Hickey. Real world OCaml. 2013
- [8] Miran Lipovača. LEARN YOU A HASKELL FOR GREAT GOOD!. 2011
- [9] Скоробогатов С.Ю. Лекции по курсу «Компиляторы», 2014.
- [10] Арсеньев В.В., Сажин Ю.Б. Методические указания к выполнению организационно-экономической части дипломных проектов по созданию программной продукции. М.: изд. МГТУ им. Баумана, 1994. 52 с. 2.
- [11] Под ред. Смирнова С.В. Организационно-экономическая часть дипломных проектов исследовательского профиля. М.: изд. МГТУ им. Баумана, 1995. 100 с.