

**Правительство Российской Федерации**

**Государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования**

**«Государственный университет -  
Высшая школа экономики»**

**Факультет Бизнес-информатика  
Отделение Программная инженерия**

**Программа дисциплины**

**«Функциональное программирование»**

для направления 080700.62 - «Бизнес-информатика»

подготовки бакалавра

Автор программы  
доцент, к.ф.-м.н. **Д.В.Сошников**  
[dsoshnikov@hse.ru](mailto:dsoshnikov@hse.ru)

Рекомендована секцией УМС  
по бизнес-информатике

Председатель Ю.В.Таратухина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Одобрена на заседании кафедры  
Управление разработкой  
программного обеспечения  
Зав. кафедрой С.М.Авдошин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Утверждена Ученым Советом  
факультета Бизнес-информатики

Ученый секретарь В.А.Фомичев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Москва

## I. Пояснительная записка

### **Автор программы:**

доцент, к.ф.-м.н. Д.В.Сошников

### **Общие сведения об учебном курсе:**

дисциплина читается студентам бакалавриата отделения программной инженерии факультета бизнес-информатики ГУ-ВШЭ. Она входит в блок специальных дисциплин по выбору, и читается в первом и втором модулях четвертого учебного года. Количество кредитов – 5,7. Продолжительность курса составляет 40 аудиторных учебных часов, в том числе: 20 часов лекционных занятий, 20 часов практических занятий, и 98 часов самостоятельной работы. Рубежный контроль – отчёты по лабораторным работам и письменный зачёт по окончанию 2-го модуля.

### **Требования к студентам**

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении учебных дисциплин “Алгоритмы и структуры данных”, “Информатика и программирование”, “Введение в программную инженерию” и “Объектно-ориентированный анализ и программирование”.

### **Цель курса**

Целью преподавания дисциплины “Функциональное программирование” является знакомство студентов с альтернативной парадигмой программирования – функциональным программированием, с соответствующей алгоритмической моделью в виде лямбда-исчисления, и с языком программирования F#.

### **Аннотация**

Курс знакомит слушателей с парадигмой функционального программирования, в которой решение задач сводится к описанию функций, перерабатывающих некоторые входные данные в выходные и строящихся из более простых функций на основе принципов функциональной абстракции и аппликации. Рассматриваются теоретические основы функционального программирования (лямбда-исчисление, комбинаторная логика), на примере функционального подхода дается представление о некоторых теоретических разделах компьютерных наук (семантика языков программирования, доказательство программ). С другой стороны курс содержит значительную практическую составляющую, основанную на промышленном языке программирования F# (входит в состав Microsoft Visual Studio 2010), рассматриваются вопросы использования функциональных языков для построения компиляторов, грамматического разбора, для анализа финансовых показателей и т.д.

### **Учебные задачи курса:**

В результате прохождения учебного курса студенты должны:

- быть в состоянии использовать функциональный подход и функциональные языки для решения практических задач в тех областях, где это представляется удобным и практичным

- самостоятельно выделять такие задачи и оценивать преимущества использования функционального подхода, проектировать программные системы и проекты на основе мультипарадигмального подхода
- понимать взаимосвязь лямбда-исчисления как теоретической модели вычислений с практическими аспектами функционального программирования
- использовать более чистый (свободный от побочных эффектов) стиль программирования с высоким уровнем абстракции, научиться эффективно использовать новые функциональные возможности современных императивных языков (LINQ, лямбда-выражения и т.д.).

## II. Тематический план учебной дисциплины

| №                               | Название темы   | Всего часов по дисциплине | Аудиторные часы |                      | Самостоятельная работа |
|---------------------------------|---|---------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|
|                                 |   |                           | Лекции          | Практические занятия |                        |
| <b>Первый модуль (20 часов)</b> |   |                           |                 |                      |                        |
| 1                               | Введение в функциональное программирование                        | 16                        | 4               | 2                    | 10                     |
| 2                               | Рекурсивные структуры данных – списки и деревья                   | 30                        | 4               | 6                    | 20                     |
| 3                               | Лямбда-исчисление как алгоритмическая модель                      | 14                        | 2               | 2                    | 10                     |
| <b>Второй модуль (20 часов)</b> |   |                           |                 |                      |                        |
| 4                               | Лямбда-исчисление как язык программирования                       | 12                        | 2               | 0                    | 10                     |
| 5                               | Важные приёмы функционального программирования                    | 18                        | 2               | 4                    | 12                     |
| 6                               | Метапрограммирование, асинхронное и параллельное программирование | 16                        | 2               | 2                    | 12                     |
| 7                               | Объектно-ориентированные и императивные элементы языка F#.        | 16                        | 2               | 2                    | 12                     |
| 8                               | Функциональные аспекты современных языков программирования.       | 16                        | 2               | 2                    | 12                     |
| <b>Итого:</b>                   |   | <b>138</b>                | <b>20</b>       | <b>20</b>            | <b>98</b>              |

### III. Базовый учебник (и) или ридер (ы)

#### Книги:

- R.Pickering, Foundations of F#, A-Press, 2008.
- D.Syme, A.Granicz, A.Cisternio. Expert F#. A-Press, 2008
- J.Narrop, F# for Scientists, Wiley, 2008.
- Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования, №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)
- Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.
- Harrison, J. Introduction to Functional Programming. Lecture Notes, Cambridge University, 1997.
- E. Chailloux, P. Manoury, V.Pagano. Разработка программ с помощью Objective Caml. O'Reilly. Русский перевод: <http://shamil.free.fr/comp/ocaml/>
- Хювёнен Э., Сеппенен И. Мир Lisp'a. В 2-х томах. М.: Мир, 1990.
- Thompson S. Haskell: The Craft of Functional Programming. 2-nd edition, Addison-Wesley, 1999.

#### Веб-ресурсы:

- Сошников Д.В. Видео-курс «Функциональное программирование» интернет-университета информационных технологий ИНТУИТ.РУ (<http://www.intuit.ru/department/pl/funcprog/>)
- Электронный журнал «Практика функционального программирования»: <http://fprog.ru>
- <http://blogs.msdn.com/dsyme>
- <http://www.codeplex.com/fsharpsamples>

#### Дополнительная литература:

- Chris Okasaki, Purely Functional Data Structures (Ph.D. Thesis): <http://lib.mexmat.ru/books/12772>

### IV. Формы контроля

- контроль выполнения студентами лабораторных работ на практических занятиях;
- отчёты по лабораторным работам;
- итоговый контроль: письменный зачёт в конце 2-го модуля состоящий из теоретической и практической части;
- опционально: выступления с докладами на практических занятиях
- итоговая оценка  $K$  по 10-балльной шкале формируется как взвешенная сумма:  
$$K = 0,2 LP + 0,4 Zm + 0,4 Zn$$
где  $LP$ ,  $Zm$  и  $Zn$  – 10-балльные оценки за лабораторные работы, теоретический и практический зачет соответственно с округлением до целого числа баллов. [Выступление с докладами на практических занятиях или иная активная форма участия в учебном](#)

Отформатировано: Шрифт: не курсив, русский (Россия)

Отформатировано: Шрифт: не курсив, русский (Россия)

процессе учитывается отдельно путём повышения оценки до 1 балла. Перевод в пятибалльную оценку осуществляется в соответствии со следующей таблицей.

**Таблица соответствия оценок по десятибалльной и пятибалльной системам**

| <b>По десятибалльной шкале</b>                          | <b>По пятибалльной шкале</b> |
|---|------------------------------|
| 1 – неудовлетворительно<br>2 – очень плохо<br>3 – плохо | неудовлетворительно – 2      |
| 4 – удовлетворительно<br>5 – весьма удовлетворительно   | удовлетворительно – 3        |
| 6 – хорошо<br>7 – очень хорошо                          | хорошо – 4                   |
| 8 – почти отлично<br>9 – отлично<br>10 – блестяще       | отлично – 5                  |

## **V. Содержание программы**

### **Тема 1: Введение в функциональное программирование**

- ◆ Содержание темы:
  - История языков программирования
  - Парадигмы программирования
  - Понятие о функциональном программировании и его особенности
  - Преимущества функционального подхода
  - Функциональное программирование в реальных проектах
  - Понятия об абстракции, аппликации, редукции; лямбда-нотация
  - Базовые типы данных
  - Рекурсия, организация циклов
- ◆ Практическое занятие
  - Решение вычислительной задачи на Microsoft Excel, C# и F#
  - Построение множества Мандельброта
  - Построение двухмерного и трехмерного графиков функции двух аргументов
- ◆ Основная литература:
  - Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования, №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.

### **Тема 2: Рекурсивные структуры данных – списки и деревья**

- ◆ Содержание темы:
  - Представление списков в функциональных языках
  - Основные операции со списками, функции высших порядков
  - Хвостовая рекурсия
  - Массивы, многомерные прямоугольные и непрямоугольные массивы
  - Порядковое представление списков и разреженных матриц
  - Представление двоичных деревьев и деревьев общего вида
  - Деревья выражений и абстрактные синтаксические деревья

- Деревья поиска
- Деревья файловой системы
- Другие функциональные структуры данных и абстрактные типы данных
- ◆ Практическое занятие
  - Лабораторная работа 1: Операции со списками
  - Лабораторная работа 2: Работа с деревьями
- ◆ Основная литература:
  - R.Pickering, Foundations of F#, A-Press, 2008.
  - D.Syme, A.Granicz, A.Cisternio. Expert F#. A-Press, 2008
  - J.Narrop, F# for Scientists, Wiley, 2008.
  - Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования», №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.
- ◆ Дополнительная литература:
  - Chris Okasaki, Purely Functional Data Structures (Ph.D. Thesis): <http://lib.mexmat.ru/books/12772>

### Тема 3: Лямбда-исчисление как алгоритмическая модель

- ◆ Содержание темы:
  - Понятие алгоритмической модели и модели вычислений
  - Аппликация, абстракция, редукция
  - Основные порядки редукции, теорема Чёрча-Россера
  - Реализация рекурсии через оператор неподвижной точки
  - Комбинаторы, комбинаторная логика
- ◆ Практическое занятие
  - Редукция лямбда-выражений
- ◆ Основная литература:
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.

### Тема 4: Лямбда-исчисление как язык программирования

- ◆ Содержание темы:
  - Реализация логического и целого типов в чистом лямбда-исчислении, нумералы
  - Представление списков и упорядоченных пар
- ◆ Основная литература:
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.

### Тема 5: Важные приёмы функционального программирования

- ◆ Содержание темы:
  - Замыкания и частичное применение функции
  - Энергичные и ленивые (отложенные ) вычисления
  - Генераторы
  - Продолжения
  - Последовательности
  - Мемоизация
- ◆ Практические занятия:
  - Реализация машины Тьюринга на F#

- Лабораторная 3: Обработка текстовых файлов
- ◆ Основная литература:
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.
  - R.Pickering, Foundations of F#, A-Press, 2008.
  - D.Syme, A.Granicz, A.Cisternio. Expert F#. A-Press, 2008
  - J.Narrop, F# for Scientists, Wiley, 2008.
  - Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования, №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)
  - Хювёнен Э., Сеппенен И. Мир Lisp'a. В 2-х томах. М.: Мир, 1990.
  - Thompson S. Haskell: The Craft of Functional Programming. 2-nd edition, Addison-Wesley, 1999.

#### Тема 6: **Метапрограммирование, асинхронное и параллельное программирование**

- ◆ Содержание темы:
  - Метапрограммирование с использованием квотирования
  - Понятие монад и монадических выражений
  - Монада недетерминированных вычислений
  - Параллельное и асинхронное программирование
  - Агентный паттерн проектирования параллельных и асинхронных систем
  - Язык Axiom
- ◆ Практическое занятие
  - Реализация компилятора выражений в стековый язык абстрактной машины
  - Лабораторная 4: Реализация параллельной программы обработки текстовых файлов
- ◆ Основная литература:
  - Филд А., Харрисон П. Функциональное программирование. – М.: Мир, 1993.
  - R.Pickering, Foundations of F#, A-Press, 2008.
  - D.Syme, A.Granicz, A.Cisternio. Expert F#. A-Press, 2008
  - J.Narrop, F# for Scientists, Wiley, 2008.
  - Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования, №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)

#### Тема 7: **Объектно-ориентированные и императивные элементы языка F#**

- ◆ Содержание темы:
  - Модули F#
  - Реализация классов в F#
  - Наследование vs. делегирование в проектировании функциональных программных систем и библиотек
  - Императивные конструкции: while-циклы, ref-переменные
  - Взаимодействие с .NET
- ◆ Практическое занятие
  - Лабораторная 5: Реализация смешанного мультипарадигмального .NET-проекта
- ◆ Основная литература:
  - R.Pickering, Foundations of F#, A-Press, 2008.

- D.Syme, A.Granicz, A.Cisternio. Expert F#. A-Press, 2008
- J.Narrop, F# for Scientists, Wiley, 2008.
- Евгений Лазин, Максим Моисеев, Давид Сорокин. Введение в F#. «Практика функционального программирования», №5, 2010. (электронная версия – <http://fprog.ru>)

#### Тема 8: **Функциональные аспекты современных языков программирования**

##### ◆ Содержание темы:

- Функциональные возможности C# 3.0
- Функциональное программирование на Python
- LINQ

##### ◆ Практическое занятие

- Программирование в функциональном стиле на C# 3.0

##### ◆ Основная литература:

- Функциональное программирование на Python:  
<http://www.iso.ru/journal/articles/75.html>
- Функциональное программирование на C#:  
<http://kuklaora.blogspot.com/2007/03/c.html>
- LINQ как шаг к функциональному программированию:  
<http://www.rsdn.ru/article/mag/200802/LinqAsStapToFp.xml>

## **VI. Тематика заданий по различным формам текущего контроля**

### ◆ Тематика практических занятий / лабораторных работ

- Лабораторная работа 1: Операции со списками
- Лабораторная работа 2: Работа с деревьями
- Лабораторная работа 3: Обработка текстовых файлов
- Лабораторная работа 4: Реализация параллельной программы обработки текстовых файлов
- Лабораторная работа 5: Реализация смешанного мультипарадигмального .NET-проекта
- Решение вычислительной задачи на Microsoft Excel, C# и F#
- Построение множества Мандельброта
- Построение двухмерного и трехмерного графиков функции двух аргументов
- Реализация машины Тьюринга на F#
- Реализация компилятора выражений в стековый язык абстрактной машины
- Программирование в функциональном стиле на C# 3.0

### ◆ Тематика домашних заданий

- Домашние задания связаны с доработкой начатых в классе решений и оформлением краткого отчёта по каждой из тем, а также с реализацией небольших проектов и решением задач на языке F#.



## VII. Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

### ◆ Зачет

Зачет проводится в письменной форме и состоит из двух частей:

- первая часть – теоретическая, проводится в форме письменного экзамена на русском языке (45 мин.)
- вторая часть – практическая, связана с разработкой и отладкой решения задачи на языке F# (45 мин)

### ◆ Примерный перечень вопросов по курсу:

1. Какие операторы традиционно отсутствуют в функциональных языках?
2. Какая алгоритмическая модель лежит в основе функционального программирования?
3. Почему функциональные программы не содержат побочных эффектов?
4. Какие основные операции в чистом  $\lambda$ -исчислении?
5. Что такое каррирование?
6. С помощью какой функции можно эффективно посчитать сумму элементов целочисленного списка?
7. Какой тип имеет функция `map`?
8. Какие условия являются необходимыми для хвостовой рекурсии?
9. При вычислении длины списка `n` с помощью хвостовой рекурсии, сколько памяти выделяется в стеке?
10. В каком представлении матриц проще реализовать операцию транспонирования?
11. Какова сложность добавления элемента на первое место списка длины `n`?
12. Как можно свести нелинейно-рекурсивную функцию к хвостовой рекурсии?
13. Какой самый внутренний редекс в выражении  $(\lambda x. \lambda y. y) ((\lambda z. z z) (\lambda z. z z))$
14. Какой порядок редукции соответствует передаче параметров по значению?
15. Какие комбинаторы образуют наименьший базис?
16. Что такое мемоизация?

Автор программы: \_\_\_\_\_ Сошников Д.В.