

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория языков программирования

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Компьютерные науки и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.02 Теория языков программирования относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|---|---|---|------------------------------------|------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности | ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач | ПК-11.1: Знать способы разработки ПО на языке Haskell. Знать синтаксис и основные конструкции языка Haskell. ПК-11.2: Уметь реализовывать интерпретатор языка программирования. Уметь определять новые типы, классы и монады для структурирования программ. ПК-11.3: Владеть навыками чтения сообщения об ошибках и исправления ошибок, навыками чтения и составления документации. Владеть способами планирования времени для успешного выполнения еженедельных домашних заданий. | Задания | Зачёт: Проект |
| ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач | ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и | ПК-4.1: Знать особенности, преимущества и недостатки парадигмы функционального программирования, ее место в современной программной инженерии. Знать основы лямбда-исчисления как математического основания | Задачи | Зачёт: Задачи |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | <p>теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> | <p>функционального программирования. Знать определение операционной семантики языка программирования с вызовом по имени и по значению. Знать различные способы реализации рекурсии (операторы fix и letrec, рекурсивные замыкания, циклические замыкания). Знать правила и алгоритмы типизации программ.</p> <p>ПК-4.2:</p> <p>Уметь писать доказательства, использующие структурную индукцию. Уметь использовать свойства лямбда-исчисления для преобразования и доказательства свойств программ. Уметь доказывать утверждения про операционную семантику языка программирования. Уметь использовать индексы де Брауна. Уметь проверять типовую правильность программы.</p> <p>ПК-4.3:</p> <p>Владеть навыками мышления и разработки программ в функциональной парадигме. Владеть навыками доказательства свойств различных исчислений с помощью структурной индукцией. Владеть навыками символьных вычислений.</p> | | |
|--|---|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|---------------------------------|--------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 3 |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |

| | |
|--|--------------------------|
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 16 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 75 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|---|-----------------|---|--|-------------|--|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы | Всего | |
| | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о |
| 1. Программирование на языке Haskell. | 20 | 3 | 3 | 6 | 14 |
| 2. Основы лямбда-исчисления и его операционной семантики. | 20 | 3 | 3 | 6 | 14 |
| 3. Интерпретатор языка PCF. | 33 | 5 | 5 | 10 | 23 |
| 4. Типовая семантика языка PCF. | 20 | 3 | 3 | 6 | 14 |
| 5. Семантика PCF со ссылками. | 14 | 2 | 2 | 4 | 10 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | | 1 |
| Итого | 108 | 16 | 16 | 33 | 75 |

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Установка интерпретатора Haskell и работа с ним. Основные типы данных и их значения. Определение функций. Конструкции let и where. Ограничения. Сопоставление с образцом. Частично примененные функции. Сечения. Рекурсия. Ленивые вычисления. Арифметические прогрессии. Генераторы списков. Двумерный синтаксис. Бесточечная запись. Функции высших порядков. Классы типов. Алгебраические типы. Синонимы типов (type) и обертки вокруг типов (newtype). Объявление классов типов и их экземпляров.

2. Синтаксис лямбда-исчисления. Конфлюентность и его следствия. Операционная семантика с малым и большим шагом с вызовом по имени и по значению.

3. Синтаксис языка PCF. Операционная семантика с вызовом по имени и по значению. Интерпретатор с вызовом по имени и по значению. Способы реализации рекурсии (рекурсивные замыкания, рациональные значения). Индексы де Брауна.

4. Правила типизации языка PCF. Типовая безопасность. Вывод мономорфных и полиморфных типов.

5. Операционная и типовая семантика PCF со ссылками. Типовая безопасность.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Пирс Б. Типы в языках программирования. М. Добросвет, Лямбда пресс, 2011.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Напишите в языке Haskell функцию, вычисляющую n -ое число Фибоначчи. Используйте стандартное математическое рекурсивное определение и тип `Integer`, позволяющий работать с целыми числами произвольной величины. Экспериментальным путем найдите n , для которого вычисление занимает больше 10 секунд. Напишите другую реализацию функции с двумя дополнительными аргументами и хвостовой рекурсией. Вычислите $2n$ -ное число Фибоначчи, где n — номер, найденный выше.

2. Напишите функцию `primes :: [Integer]`, которая вычисляет бесконечный список простых чисел с помощью алгоритма "Решето Эратосфена". Начинать следует с бесконечного списка нечетных чисел, больших 1. Для прореживания списка используйте генератор списков.

3. Следующий тип определяет арифметические выражения, состоящие из целых чисел, сложения, вычитания и умножения.

```
data Exp =  
  Const Int  
  | Add Exp Exp  
  | Sub Exp Exp  
  | Mul Exp Exp  
  deriving Show
```

Напишите функцию `showExp :: Exp -> String`, которая выдает инфиксную запись выражения. Каждое подвыражение, кроме констант, должно быть окружено скобками. Например, на выражении выше функция должна выдавать `((5-3)*((1+2)+4))`.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Задание решено полностью, или решена основная его часть, или задание решено с недочетами. |
| не зачтено | Задание не решено или сделан только первый этап решения. |

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

- Докажите, что $(\lambda x y z. x z y)(\lambda x y. x) = \beta (\lambda x y. x)(\lambda x. x)$.
- Определим $\text{letrec } f = t_1 \text{ in } t_2$ как $\text{let } f = (\text{fix } f \ t_1) \text{ in } t_2$. Выпишите правило для вычисления терма $\text{letrec } f = (\text{fun } x \rightarrow t_1) \text{ in } t_2$ в интерпретаторе с окружениями и вызовом по значению. Докажите, что это правило допустимо, построив соответствующий вывод.
- Напишите значение следующего терма в PCF согласно вызову по значению.

```
let x = ref 4 in
  let f = fun y → y + !x
    in (x := 5; f 6)
```

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Задача решена полностью или решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами. |
| не зачтено | Задача не решена или сделан только первый этап решения задачи. |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|---|-------------------------------|---|---|---|---------------------------------------|
| | не зачтено | | зачтено | | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. | Уровень знаний ниже минимальных требований. | Минимально допустимый уровень | Уровень знаний в объеме, соответствующему | Уровень знаний в объеме, соответствующему | Уровень знаний в объеме, соответствующему | Уровень знаний в объеме, превышающему |

| | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|---|--|---|--|
| | Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Имели место грубые ошибки | знаний. Допущено много негрубых ошибок | ющем программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок | ющем программе подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок | ующем программе подготовки и. Ошибок нет. | м программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|---------|--------------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |

| | | |
|------------|---------------------|--|
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Проект) для оценки сформированности компетенции ПК-11

Проект заключается в выполнении следующих заданий.

1. Напишите интерпретатор РСФ вызовом по имени и по значению.
2. Напишите интерпретатор РСФ с вызовом по значению, используя рекурсивные замыкания и рациональные значения.
3. Напишите функцию, переводящую обычные термы в термы с индексами де Брауна. Напишите интерпретатор полученных термов с вызовом по значению.
4. Напишите программу, осуществляющую вывод мономорфных типов для РСФ.

Критерии оценивания (оценочное средство - Проект)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Программа компилируется без ошибок. Работает в целом правильно, но может выдавать отдельные неправильные результаты. Эффективность алгоритма и оформление кода удовлетворительные. |
| не зачтено | Программа не компилируется, работает неправильно или не была сдана преподавателю. Алгоритм неэффективный. Оформление кода непоследовательное. |

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Напишите максимальную цепочку редукций согласно семантике с малым шагом и вызовом по имени для следующего терма: $(\lambda u. u\ u)(\lambda x. \lambda y. u)(\lambda y. \lambda z. z\ u)(\lambda x. \lambda y. x)$.
2. Объясните, почему следующее утверждение истинно: «Если терм $M[N/x]$ находится в нормальной форме, то M также находится в нормальной форме». Докажите, что из того, что $M[N/x]$ имеет нормальную форму, не следует то, что M имеет нормальную форму.
3. Докажите, что свойство, обратное к свойству сохранению типа, неверно, то есть существуют такие Γ , M , N и T , что $M \rightarrow_{\beta} N$, $\Gamma \vdash N : T$, но M не является типизируемым.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Задача решена полностью или решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами. |
| не зачтено | Задача не решена или сделан только первый этап решения задачи. |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Довек Ж. Введение в теорию языков программирования : учебное пособие / Довек Ж.; Леви Ж.-Ж. - Москва : ДМК-пресс, 2015. - 134 с. - ISBN 978-5-97060-242-3.,
<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=868693&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Серебряков В. А. Теория и реализация языков программирования / Серебряков В. А. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 236 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 978-5-9221-1417-2.,
<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=666210&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Загрузка инструментов для работы с Haskell. URL: <https://www.haskell.org>.
Стандартная библиотека языка Haskell. URL: <https://hackage.haskell.org/package/base>.
Краткий обзор синтаксиса Haskell. URL:
<http://www.cse.chalmers.se/edu/year/2014/course/TDA452/haskell-syntax.html>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Макаров Евгений Маратович.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.