

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 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

2024 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/лабораторные 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:

1. Докажите, что $(\lambda x y z. xzy)(\lambda x y. x) = \beta (\lambda x y. x)(\lambda x. x)$.

2. 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.

3. Докажите выводимость следующих суждений в лямбда-исчислении с простыми типами.

$\vdash \lambda f : A \rightarrow B \rightarrow C. \lambda y : B. \lambda x : A. fxy : (A \rightarrow B \rightarrow C) \rightarrow (B \rightarrow A \rightarrow C)$

$\vdash \lambda f : A \rightarrow B \rightarrow C. \lambda g : A \rightarrow B. \lambda x : A. (fx) (gx) : (A \rightarrow B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)$

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 (индикатор 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. Рассмотрим систему уравнений

$$\begin{aligned} f &= F f g \\ g &= G f g \end{aligned}$$

для некоторых термов F и G , где $=$ обозначает рефлексивное, симметричное и транзитивное замыкание редукций РСФ с малым шагом. Рассмотрим следующий терм P :

$$P = \text{fix } p. \langle F(\pi_1 p)(\pi_2 p), G(\pi_1 p)(\pi_2 p) \rangle,$$

где $\langle M, N \rangle = \lambda h. h M N$, $\pi_1 P = P \lambda x y. x$ и $\pi_2 P = P \lambda x y. y$. Докажите, что $\pi_1 P$ и $\pi_2 P$ удовлетворяют приведенной выше системе уравнений.

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 13.12.2023, протокол № 3.