

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  
президиумом Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины

**Современные проблемы компьютерных наук**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Компьютерные науки и приложения**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

# 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

## Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.О.07) читается в третьем семестре и относится к обязательной части программы магистратуры. Дисциплина опирается на материал курсов «Математическая логика», «Современные проблемы дискретной математики» и «Современные проблемы искусственного интеллекта».

## Цели освоения дисциплины

Целями дисциплины являются знакомство с теорией типов и неклассическими логиками, а также их приложениями в информационных технологиях

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые 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	
ОПК-1 Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1 Знает современные методы решения задач фундаментальной и прикладной математики	ЗНАТЬ способы формализации и доказательств утверждений в системе интерактивных доказательств Coq; способы верификации программ.	Задачи
	ОПК-1.2 Умеет использовать фундаментальные знания и практический опыт в профессиональной деятельности	УМЕТЬ доказывать утверждения в системе интерактивных доказательств Coq; доказывать правильность алгоритмов.	Задачи
	ОПК-1.3 Имеет навыки решения актуальных и значимых проблем фундаментальной и прикладной математики	ВЛАДЕТЬ навыками использования системы интерактивных доказательств Coq; навыками верификации алгоритмов.	Задачи
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Знает современные методы анализа математических моделей при решении задач в области профессиональной деятельности	ЗНАТЬ определение и свойства различных лямбда-исчислений от исчисления с простыми типами до чистых систем типов.	Собеседование (экзамен), задачи
	ОПК-3.2 Умеет разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области	УМЕТЬ доказывать свойства лямбда-исчислений; применять лямбда-исчисления для решения практических задач информационных технологий.	Задачи

	профессиональной деятельности		
	ОПК-3.3 Имеет навыки разработки новых математических моделей при решении задач в области профессиональной деятельности	ВЛАДЕТЬ навыками анализа лямбда-исчислений и доказательства их свойств.	Задачи
ПК-1 Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности.	ЗНАТЬ определение и свойства различных неклассических логик.	Собеседование (экзамен), задачи
	ПК-1.2 Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности.	УМЕТЬ доказывать свойства неклассических логик; применять различные логики для спецификации алгоритмов.	Задачи
	ПК-1.3 Имеет опыт применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности.	ВЛАДЕТЬ навыками применения неклассических логик для верификации алгоритмов.	Задачи

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоёмкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	6 ЗЕТ
Часов по учебному плану	216
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	66
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	2
самостоятельная работа	114
Промежуточная аттестация – экзамен	36

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы.				
		Из них			Всего	
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа				
1. Свойства лямбда-исчисления с простыми типами		6	4			22
2. Формализация свойств лямбда-исчисления в системе Coq		4	6			14
3. Доказательство эквивалентности программ с помощью логических отношений		4	4			14
4. Лямбда-куб и чистые системы типов		4	4			14
5. Соответствие Карри-Говарда, его использование для извлечения программ из доказательств		4	4			14
6. Распространение соответствия Карри-Говарда на классическую логику		4	4			14
7. Обзор неклассических логик, используемых в компьютерных науках: интуиционистской, линейной, модальной, временной, логики Хоара, динамической и логики разделений		6	6			22
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
Итого	216	32	32		66	114

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (экзамен).

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Ниже приводятся виды самостоятельной работы студентов, порядок их выполнения и контроля, приводится учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы по ее отдельным видам и разделам дисциплины.

#### Виды самостоятельной работы студентов:

- проработка теоретического материала лекционных занятий;
- подготовка домашних заданий к научно-практическим занятиям;
- подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена.

## 4.1. Проработка теоретического материала лекционных занятий

Выполняется самостоятельно с использованием лекционных материалов и материалов, разобранных в литературе (список обязательной и дополнительной литературы приводится).

Контроль выполняется в форме проведения ежемесячного письменного экспресс-опроса по понятиям, фактам, формулировкам, выполняемого в течение 15 минут на практических занятиях. Экспресс – опрос оценивается оценками «Зачтено» – «Не зачтено».

## 4.2. Подготовка домашних заданий к научно-практическим занятиям

Домашние задания выдаются на практических занятиях.

Проверка выполнения домашних заданий проводится в начале каждого практического занятия. Используется две формы контроля: – выборочная проверка выполнения заданий у двух-трех человек из группы; – проверка в форме коллективного обсуждения у доски результатов выполнения отдельных заданий одним или двумя студентами.

## 4.3. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена

В качестве методических материалов при подготовке к экзамену рекомендуется использовать собственные конспекты лекций и источники, рекомендованные в списке литературы раздела 7.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем 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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с небольшими несущественными недочетами, выпол-	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами.		нены все задания в полном объеме.	
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Утверждения в этом разделе следует доказывать в системе доказательств Соq.

1. Докажите, что свойство продвижения можно доказать индукцией по терму вместо индукции по типовому выводу.
2. Докажите следующее свойство подстановок:  $M[N/x][K/y] = M[K/y][N[K/y]/x]$ , если  $x$  и  $y$  — различные переменные и  $x$  не входит свободно в  $K$ .
3. Покажите, что лемму о подстановке можно доказать индукцией по типовому выводу вместо индукции по терму.
4. Почему доказательство нормализации индукцией по терму не проходит?

### 5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Пусть  $\Gamma \vdash M[N/x] : S$  в лямбда-исчислении с простыми типами в стиле Чёрча и пусть  $x$  входит свободно в  $M$ . Покажите, что  $\Gamma, x : T \vdash M : S$  для некоторого  $T$ , такого что  $\Gamma \vdash N : T$ . Верно ли это свойство в лямбда-исчислении с простыми типами в стиле Карри?
2. Выпишите  $\lambda\mu$ -термы со следующими типами.

- a)  $(p \rightarrow q) \rightarrow (\neg p \rightarrow q) \rightarrow q$ ;
  - b)  $(p \vee q \rightarrow p) \vee (p \vee q \rightarrow q)$ ;
  - c)  $(p \rightarrow q \vee r) \rightarrow ((p \rightarrow q) \vee r)$ .
3. Докажите, что если  $\Gamma \vdash A : B$  в чистой системе типов, то  $\Gamma \vdash B : s$ , где  $s$  есть сорт, или  $B$  есть сорт.

### 5.2.3. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Докажите, что следующие формулы не являются интуиционистскими тавтологиями, построив контрмодель Крипке или алгебру Гейтинга открытых подмножеств плоскости.
  - a)  $((p \rightarrow q) \rightarrow p) \rightarrow p$ ;
  - b)  $p \vee \neg p$ ;
  - c)  $\neg \neg p \rightarrow p$ ;
  - d)  $(\neg q \rightarrow \neg p) \rightarrow (p \rightarrow q)$ ;
  - e)  $\neg(p \wedge q) \rightarrow (\neg p \vee \neg q)$ .
2. В классической предикатной логике кванторы существования и всеобщности определяются друг через друга. Верно ли это свойство для интуиционистской предикатной логики?
3. Докажите корректность следующей программы в логике Хоара.
 

```

{ n > 0 }
count = n;
sum = 0;
while count <> 0 do
  sum = sum + count;
  count = count - 1;
end
{ sum = 1 + 2 + ... + n }
      
```

### 5.2.4. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1. Свойство продвижения для лямбда-исчисления с простыми типами.	ОПК-3
2. Сохранение типа для лямбда-исчисления с простыми типами.	ОПК-3
3. Сильная нормализация для лямбда-исчисления с простыми типами.	ОПК-3
4. Задача определения эквивалентности лямбда-термов.	ОПК-3
5. Использование логических отношений для решения задачи эквивалентности.	ОПК-3
6. Лямбда-исчисление с полиморфными типами: система F.	ОПК-3
7. Лямбда-исчисление с зависимыми типами.	ОПК-3
8. Полиморфизм высших порядков: система F <sub>ω</sub> .	ОПК-3
9. Лямбда-куб Барендрегта.	ОПК-3
10. Чистые системы типов, примеры.	ОПК-3
11. Соответствие Карри-Говарда, генерирование программ, корректных по определению.	ПК-1, ОПК-3
12. Лямбда-мю-исчисление. Распространение соответствия Карри-Говарда на классическую логику.	ПК-1, ОПК-3
13. Вложение классической логики в интуиционистскую и трансляция в стиле передачи продолжения.	ПК-1, ОПК-3
14. Извлечение программ из классических доказательств.	ПК-1, ОПК-3
15. Теория доказательств минимальной и интуиционистской логик.	ПК-1
16. Семантика минимальной и интуиционистской логик: интерпретация Брауэра-Гейтинга-Колмогорова, модели Крипке, алгебры Гейтинга.	ПК-1
17. Линейная логика. Погружение классической логики в линейную.	ПК-1
18. Использование линейной логики в информатике. Линейные типы в языках функционального программирования.	ПК-1

19. Модальные логики. Временная логика CTL, ее использование в проверке моделей.	ПК-1
20. Доказательство корректности программ с побочными эффектами с помощью логики Хоара.	ПК-1
21. Динамическая логика, погружение в нее логики Хоара.	ПК-1
22. Логика разделений, ее использование для спецификации программ с указателями.	ПК-1
23. Корректности правила кадра в логике разделений.	ПК-1

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Кудрявцева, И. А. Программирование: теория типов : учебное пособие для вузов / И. А. Кудрявцева, М. В. Швецкий. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 652 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11088-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/517823> (дата обращения: 14.12.2022).
2. Pierce B.C. et al. Software Foundations. Volume 1: Logical Foundations. URL: <https://softwarefoundations.cis.upenn.edu/lf-current/index.html>.

### б) дополнительная литература:

1. Грибанов Д.В., Малышев Д.С., Мокеев Д.Б. Неклассические логики и лямбда-исчисление: некоторые элементы. Нижний Новгород, ННГУ, 2021. URL: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/31>.
2. Герасимов А.С. Курс математической логики и теории вычислимости. СПб.: Лема, 2011. URL: <https://www.mccme.ru/free-books/gerasimov-3ed-mccme.pdf>.

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

Coq Reference Manual. <https://coq.inria.fr/distrib/current/refman/>.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и 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 ННГУ.

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

Автор: Ph.D., доц. Е.М. Макаров  
Зав. кафедрой: д.ф.м.н., доц. Ю. Золотых

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от «30» ноября 2022 г. № 13.