

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 искусственного интеллекта**

---

Уровень высшего образования

**магистратура**

---

Направление подготовки

**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы

**Компьютерные науки и приложения**

---

Форма обучения

**очная**

---

Нижегород  
2022

# 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

## Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.О.04) читается во втором семестре и относится к обязательной части программы магистратуры. Дисциплина опирается на материал курсов «Математическая логика», «Современные проблемы дискретной математики».

## Цели освоения дисциплины

Целями дисциплины являются знакомство с формализованными доказательствами, интерактивными системами доказательства теорем и их использованием для верификации алгоритмов.

## 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	
ОПК-2 Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1. Знает способы совершенствования и реализации новых математических методов решения прикладных задач	ЗНАТЬ определение и свойства исчисления индуктивных конструкций; аксиомы и правила вывода логики высших порядков; отличие классической и конструктивной логики; соответствие Карри-Говарда; тактики и команды системы интерактивных доказательств Coq.	Собеседование (экзамен)
	ОПК-2.2. Умеет применять способы совершенствования и реализации новых математических методов решения прикладных задач	УМЕТЬ Записывать алгоритмы на языке функционального программирования; формулировать спецификации алгоритмов в виде формул логики высших порядков; строить формальные доказательства утверждений в системе Coq.	Задачи, проект
ПК-3 Способен представлять результаты проведённой работы в области профессиональной деятельности	ПК-3.1. Знает способы представления результатов проведённой работы в области профессиональной деятельности	ЗНАТЬ основы системы компьютерной вёрстки LaTeX; возможности пакета Beamer для создания презентаций; основные принципы создания эффективной презентации.	Доклад

	ПК-3.2. Умеет представлять результатов проведённой работы в области профессиональной деятельности	УМЕТЬ сочетать строгость и ясность при составлении доказательств, предназначенных для чтения людьми; составлять информативную презентацию и эффективно объяснять результаты своей работы.	Доклад, проект
--	---	---	----------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость 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.				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Из них						
1. Пропозициональная логика в Coq	11	2	2		4	7
2. Предикатная логика в Coq	11	2	2		4	7
3. Пропозициональное равенство и равенство по определению. Арифметика Пеано	11	2	2		4	7
4. Автоматические тактики для доказательства арифметических фактов. Поиск в стандартной библиотеке	11	2	2		4	7
5. Лямбда-исчисление с простыми и зависимыми типами. Введение в соответствие Карри-Говарда	11	2	2		4	7
6. Индуктивные типы и сорт Prop. Разрешимые предикаты в программах	11	2	2		4	7

7. Зависимые суммы и квантор существования. Извлечение программ из конструктивных доказательств	11	2	2		4	7
8. Индукция с несколькими базами и параметрами. Определение и упрощение рекурсивных функций	11	2	2		4	7
9. Индуктивные типы. Списки, деревья. Структурная индукция	11	2	2		4	7
10. Зависимые типы. Исчисление конструкций	12	2	2		4	8
11. Индуктивные предикаты	11	2	2		4	7
12. Функции и их спецификации	11	2	2		4	7
13. Теория индуктивных типов	11	2	2		4	7
14. Рекурсия общего вида	11	2	2		4	7
15. Доказательства с использованием рефлексии	11	2	2		4	7
16. Конструктивная логика, ее отличие от классической	12	2	2		4	8
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;
- выполнение программного проекта;
- подготовка к докладу, представляющему результаты проекта;
- 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.

Перед каждым занятием студенты должны загрузить решение предыдущего домашнего задания на сайт курса.

### 4.3. Подготовка к выполнению программного проекта

В конце первой половины курса студентам предлагаются индивидуальные задания по формальной спецификации и верификации алгоритма в системе Coq.

Для подготовки к выполнению этого проекта нужно изучить материал лекций и практических занятий. По результатам выполнения проекта требуется написать реферат, а также сделать доклад, в котором представлены результаты проекта.

#### 4.4. Подготовка к докладу, представляющему результаты проекта

В конце семестра все студенты должны сделать доклад с описанием выполненного проекта. Доклад должен сопровождаться презентацией, подготовленной в системе компьютерной вёрстки LaTeX.

Для подготовки доклада нужно ознакомиться с рекомендациями по составлению эффективной презентации и изучить способы работы с пакетом Beamer в системе LaTeX.

#### 4.5. 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 недочетами.	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 отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

	отказа обучающегося от ответа	ошибки.	рыми недочетами.				
--	-------------------------------	---------	------------------	--	--	--	--

### 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-2

1. Постройте доказательство следующих утверждений в системе Coq.

Proposition disj\_elim :  $(A \vee B \rightarrow C) \leftrightarrow (A \rightarrow C) \wedge (B \rightarrow C)$ .

Theorem t :  $(\text{forall } x : T, P1\ x) \vee (\text{forall } x : T, P2\ x) \rightarrow (\text{forall } x : T, P1\ x \vee P2\ x)$ .

Theorem odd\_times :  $\forall m\ n, \text{odd } m \rightarrow \text{odd } n \rightarrow \text{odd } (m * n)$ .

2. Определите функцию  $\text{sumCubes} : \text{nat} \rightarrow \text{nat}$ , такую что  $\text{sumCubes } n = 1 + 8 + 27 + \dots + n^3$ , и докажите, что  $\text{sumCubes } n = (\text{sum } n)^2$ .
3. Докажите выводимость следующих суждений в лямбда-исчислении с простыми типами.
  - $\lambda f: A \rightarrow B \rightarrow C. \lambda y: B. \lambda x: A. f\ x\ y: (A \rightarrow B \rightarrow C) \rightarrow (B \rightarrow A \rightarrow C)$
  - $\lambda f: A \rightarrow B \rightarrow C. \lambda g: A \rightarrow B. \lambda x: A. (f\ x)\ (g\ x) : (A \rightarrow B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)$
4. Суммой  $B1 + B2$ , или дизъюнктивным объединением, множеств  $B1$  и  $B2$ , называется объединении непересекающихся «копий» этих множеств. Например,  $B1 + B2$  можно реализовать как  $\{(1, x) \mid x \in B1\} \cup \{(2, y) \mid y \in B2\}$ . Эту операцию обобщается на произвольное семейство множеств  $\{B_i \mid i \in A\}$ . Что является аналогом операции зависимой суммы со стороны логики?

### 5.2.2. Темы программных проектов для оценки сформированности компетенций ОПК-2, ПК-3

Каждый проект выполняется одним или двумя студентами. По результатам выполнения проекта требуется написать реферат, а также сделать доклад, в которых представлены результаты проекта.

1. Определить для данных  $f : \text{nat} \rightarrow \text{nat}$  и  $n : \text{nat}$ , является ли ограничение  $f$  на  $\{0, \dots, n\}$  инъекцией.
2. Определить, встречается ли число в двумерном массиве. Массив моделируется функцией типа  $\text{nat} \rightarrow \text{nat} \rightarrow \text{nat}$ , количеством строк и количеством столбцов.
3. Найти наибольший общий делитель чисел  $m$  и  $n$  с помощью алгоритма Евклида.
4. Проверить, является ли число  $n$  простым с помощью перебора всех потенциальных делителей от 2 до  $n-1$ .
5. Вычислить значение полинома в точке  $x$  методом Горнера и доказать, что оно равно значению, вычисленному обычным образом.

### 5.2.3. Оценка сформированности компетенции ПК-3

Сформированность компетенции ПК-3 оценивается по реферату и докладу, в которых студент должен представить результаты выполнения проекта.

### 5.2.4. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1. Правила вывода и тактики для пропозициональной логики.	ОПК-2
2. Правила вывода и тактики для предикатной логики.	ОПК-2
3. Пропозициональное равенство и равенство по определению. Редукции.	ОПК-2
4. Арифметика Пеано, ее представление в $\text{Coq}$ .	ОПК-2
5. Автоматические тактики $\text{Coq}$ .	ОПК-2
6. Лямбда-исчисление с простыми типами. Соответствие Карри-Говарда.	ОПК-2
7. Полиморфное лямбда-исчисление. Импредикативные определения.	ОПК-2
8. Зависимые типы. Исчисление конструкций.	ОПК-2
9. Индуктивные типы. Списки, деревья. Структурная индукция.	ОПК-2
10. Индуктивные предикаты. Теория индуктивных типов.	ОПК-2
11. Функции и их спецификации. Извлечение программ из доказательств.	ОПК-2
12. Фундированные отношения. Рекурсия общего вида.	ОПК-2
13. Доказательства с использованием рефлексии.	ОПК-2
14. Теория доказательств классической и конструктивной логики.	ОПК-2
15. Семантика классической и конструктивной логики.	ОПК-2

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Макаров Е.М. Верификация алгоритмов в системе компьютерных доказательств  $\text{Coq}$ . Курс лекций. Нижний Новгород: ННГУ, 2022.  
<https://evgenymakarov.github.io/unnfcs2019/>.
2. Крупский В.Н., Кузнецов С.Л. Практикум по математической логике.  $\text{Coq}$ . М.: МГУ, 2013. [https://homepage.mi-ras.ru/~sk/lehre/coq/coq\\_pract.pdf](https://homepage.mi-ras.ru/~sk/lehre/coq/coq_pract.pdf).

### б) дополнительная 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: 13.12.2022).
2. Pierce B.C. et al. Software Foundations. Volume 1: Logical Foundations. URL: <https://softwarefoundations.cis.upenn.edu/lf-current/index.html>.
  3. Жидков А.А. Интерактивные презентации в системе LaTeX: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2010. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/PresentLaTeX.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/PresentLaTeX.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

Рецензент: \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой: д.ф.м.н., доц. \_\_\_\_\_ Н.Ю. Золотых

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