

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**

Современные проблемы компьютерных наук

---

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.О.07 Современные проблемы компьютерных наук относится к обязательной части 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
ОПК-1: Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1: Знает современные методы решения задач фундаментальной и прикладной математики ОПК-1.2: Умеет использовать фундаментальные знания и практический опыт в профессиональной деятельности ОПК-1.3: Имеет навыки решения актуальных и значимых проблем фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1: Знать применения математической логики в компьютерных науках. Знать примеры неклассических логик и области и способы их применения в информационных технологиях.  ОПК-1.2: Уметь выбирать подходящую математическую модель для решения задач информационных технологий.  ОПК-1.3: Иметь навыки составления спецификаций программ в различных логиках.	Задачи	Экзамен: Доклад-презентация
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 ОПК-3.2: Умеет разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности ОПК-3.3: Имеет навыки	ОПК-3.1: Знать определение и свойства различных лямбда-исчислений. Знать соответствие Карри-Говарда для конструктивной и классической логик. Знать способы извлечения программ из конструктивных и неконструктивных доказательств.  ОПК-3.2: Уметь доказывать свойства лямбда-исчислений. Уметь	Задания Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы

	разработки новых математических моделей при решении задач в области профессиональной деятельности	извлекать программы из доказательств.  ОПК-3.3: Иметь навыки использования соответствия Карри-Говарда при составлении формальных выводов и соответствующих им лямбда-термов.		
ПК-1: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет опыт применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых проблем и задач в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-1.1: Знать исчисление и семантику минимальной, интуиционистской и классической логики. Знать принцип структурной индукции.</p> <p>ПК-1.2: Уметь строить выводы в конструктивной и классической логиках. Уметь доказывать невыводимость формул с помощью построения контрмоделей. Уметь проводить доказательства индукцией по выводу. Уметь доказывать корректность переводов классической логики в конструктивную.</p> <p>ПК-1.3: Иметь навыки составления формальных выводов и построения моделей в конструктивной и классической логиках.</p>	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>6</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
<b>- занятия лекционного типа</b>	<b>32</b>

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	114
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

### 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. Минимальная, интуиционистская и классическая логики.	56	10	10	20	36
2. Соответствие Карри-Говарда и извлечение программ из доказательств.	78	14	14	28	50
3. Другие применения математической логики в компьютерных науках.	44	8	8	16	28
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	216	32	32	66	114

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Натуральный вывод. Семантики: логические матрицы, булевы и псевдобулевы алгебры, топологическая семантика, модели Крипке. Разрешимость пропозициональной интуиционистской логики. Дизъюнктивное и экзистенциальное свойство. Теорема Гливленко. Переводы Колмогорова, Гёделя-Генцена и Куроды классической логики в конструктивную.
2. Запись выводов в виде лямбда-термов. Обобщение соответствия Карри-Говарда на классическую логику. Управляющие операторы и их операционная семантика. Перевод в стиле передачи продолжения (CPS). Перевод Фридмана. Консервативность  $\lambda\mu$  над  $\lambda$  для  $\Pi^0_2$ -формул. Примеры извлечения программ из неконструктивных доказательств.
3. Обзор неклассических логик, используемых в компьютерных науках: линейной, модальной, временной, логики Хоара, динамической и логики разделений. Система F. Логическое программирование.

#### 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.

Крупский В.Н., Плиско В.Е. Математическая логика и теория алгоритмов. М., Академия, 2013.  
Брагилевский В.Н. Соответствие Карри-Ховарда. Дубна, 2017.  
Sorensen M.H., Urzyczyn P. Lectures on the Curry-Howard Isomorphism. Elsevier Science, 2006.  
Griffin, Timothy. A Formulae-as-Types Notion of Control. POPL 1990.  
Troelstra A.S., Schwichtenberg H. Basic Proof Theory. Cambridge University Press, 2000.  
Van Dalen D. Logic and Structure. Springer, 2013.

## **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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Найдите слабое предусловие для следующих операторов присваивания и постусловий.

(a)  $a := 2 * (b - 1) - 1, \{a > 0\};$

(b)  $b := (c + 10) / 3, \{b > 6\};$

(c)  $a := a + 2 * b - 1, \{a > 1\};$

(d)  $x := 2 * y + x - 1; \{x > 11\}.$

2. Запишите формулы Prolog для выражения следующих отношений: при данном родителе описать отношения с дедушкой, бабушкой, братом, сестрой, двоюродным братом.

3. Докажите, что  $(p \otimes q) \& (p \otimes r) \vdash p \otimes (q \& r)$  не выводим в линейной логике без правила сечения, где  $p, q, r$  являются атомарными формулами.

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:**

1. 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

2. Докажите, что в лямбда-исчислении с простыми типами терм имеет не более одного типа.

3. Покажите, что слабое свойство Чёрча-Россера в общем случае не влечет сильное свойство Чёрча-Россера.

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Покажите, что множество всех выпуклых множеств плоскости есть решетка, однако она не является дистрибутивной.
2. Докажите, что в интуиционистской логике связки  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\rightarrow$  и  $\neg$  не выразимы друг через друга, как это имеет место в классической логике.
3. Докажите, что следующие формулы являются классическими, но не интуиционистскими тавтологиями.
  - (a)  $((p \rightarrow q) \rightarrow p) \rightarrow p$
  - (b)  $p \vee \neg p$
  - (c)  $\neg\neg p \rightarrow p$
  - (d)  $(\neg q \rightarrow \neg p) \rightarrow (p \rightarrow q)$

### 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.

### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:

1. Напишите программу на языке Racket, которая берет вывод в классической предикатной логике и строит вывод в минимальной или интуиционистской формулы, полученной в результате переводов Гёделя-Генцена, Куроды и Колмогорова. Используйте перевод Фридмана для получения вывода исходной формулы, если она принадлежала классу П2.
2. Запишите следующие утверждения в виде формул предикатной логики. Составьте полный вывод этих формул в классической логике. Запишите лямбда-терм с управляющими операторами, соответствующий каждому выводу. Запишите полученные термы в виде программ на языке Racket. Убедитесь, что ваши программы возвращают правильные результаты. Также с помощью программы из задания 1 получите термы, соответствующие выводам формул в конструктивной логике. Проверьте, что полученные таким образом программы работают правильно.
  - a. Для любых двух чисел одно из них не превосходит среднего арифметического этих чисел.
  - b. Если  $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  — произвольная функция, а  $g: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  не является сюръекцией, то  $f \circ g \circ f$  не является тождественной функцией.
  - c. Существование целочисленного корня для монотонной неограниченной функции.
  - d. В любой последовательности нулей и единиц существует бесконечная постоянная подпоследовательность.
  - e. Соотношение Безу (представление наибольшего общего делителя целых чисел в виде их линейной комбинации с целыми коэффициентами)
  - f. Теорема Диксона о монотонных подпоследовательностях двух последовательностей натуральных чисел.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Программа компилируется без ошибок. Работает в целом правильно, но может выдавать

Оценка	Критерии оценивания
	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.

## 5.2. 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. 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. Ошибок нет.	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 базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х 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 - Доклад-презентация) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Доклад выполняется группой студентов по два или три человека. Темы докладов:

1. Логика второго порядка и полиморфизм в языках программирования.
1. Линейная логика.
2. Логика Хоара и динамическая логика.
3. Логика разделений.
4. Логическое программирование и язык Prolog.
5. Сильная нормализация в лямбда-исчислении.

Возможны другие темы докладов по согласованию с преподавателем.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Доклад-презентация)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Доклад охватывает весь заданный материал. Презентация была интересна и понятна слушателям. По окончании доклада слушатели могут ответить на



Оценка	Критерии оценивания
	вопросы по теме презентации. Использовались лучшие практики по составлению презентации.
отлично	Доклад охватывает весь заданный материал. Презентация была понятна слушателям. По окончании доклада большинство слушателей могут ответить на вопросы по теме презентации.
очень хорошо	Доклад охватывает весь заданный материал. Презентация была в целом понятна слушателям. По окончании доклада большинство слушателей могут ответить на вопросы по теме презентации.
хорошо	Доклад охватывает большинство заданного материала. Не все части презентации были понятны слушателям. По окончании доклада только отдельные слушатели могут ответить на вопросы по теме презентации. Слайды содержали слишком много текста или использовали слишком маленький шрифт.
удовлетворительно	Доклад охватывает большинство заданного материала. Значительная часть презентации не была понятна слушателям. По окончании доклада слушатели не могут ответить на вопросы по теме презентации. Материал на слайдах сложно прочитать за отведенное время.
неудовлетворительно	Доклад не охватывает заданный материал. Презентация содержит ошибочную информацию. Материал на слайдах сложно прочитать за отведенное время.
плохо	Доклад не готов.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Соответствие Карри-Говарда между выводами и термами в интуиционистской предикатной логике. Редукции на выводах и термах. Конструктивное содержание интуиционистских выводов формул вида  $\forall x \exists y A[x, y]$ .
2. Вычислительные контексты. Управляющие операторы C, A, K и соответствующие им редукции. Обобщение соответствия Карри-Говарда на управляющие операторы. Редукции на выводах и термах.
3. Конструктивное содержание классических выводов формул вида  $\forall x \exists y A[x, y]$ , где A не содержит отрицания и импликации.

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Натуральный вывод для минимальной, интуиционистской и классической предикатной логики. Исчисления для формул и секвенций. Примеры выводов.
2. Натуральный вывод для минимальной, интуиционистской и классической предикатной логики в виде диаграмм Фитча. Примеры выводов.

3. Булевы алгебры. Теорема Стоуна о представлении булевых алгебр. Алгебраическая семантика классической пропозициональной логики. Теорема о корректности и полноте.
4. Семантика интуиционистской пропозициональной логики с помощью логических матриц. Примеры опровержения формул, являющихся классическими, но не интуиционистскими тавтологиями.
5. Алгебры Гейтинга. Алгебраическая семантика интуиционистской пропозициональной логики. Теорема о корректности и полноте. Свойство конечных моделей для алгебр Гейтинга. Разрешимость интуиционистской пропозициональной логики.
6. Топологическая семантика интуиционистской пропозициональной логики. Топологические алгебры Гейтинга, для которых имеет место теорема о полноте. Примеры опровержения формул, являющихся классическими, но не интуиционистскими тавтологиями.
7. Модели Крипке для интуиционистской пропозициональной логики. Доказательство монотонности вынуждения для всех формул. Теорема о корректности и полноте. Примеры опровержения формул, являющихся классическими, но не интуиционистскими тавтологиями.
8. Свойство конечных моделей для моделей Крипке. Разрешимость пропозициональной интуиционистской логики. Доказательство дизъюнктивного свойства. Доказательство того, что пропозициональная интуиционистская логика не является табличной (конечнозначной).
9. Модели Крипке, состоящие из одного мира. Доказательство теоремы Гливенко.
10. Перевод Гёделя-Генцена классической предикатной логики в минимальную логику. Доказательство его корректности.
11. Перевод Колмогорова классической предикатной логики в минимальную логику. Доказательство его корректности.
12. Перевод Куроды классической предикатной логики в интуиционистскую логику. Доказательство его корректности.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	свободное владение основным и дополнительным материалом без ошибок и погрешностей.
отлично	свободное владение основным материалом без ошибок.
очень хорошо	владение основным материалом с незначительными погрешностями.
хорошо	владение основным материалом с более существенными погрешностями.
удовлетворительно	владение минимальным материалом, необходимым по данному предмету, с рядом ошибок.
неудовлетворительно	владение материалом недостаточно, необходима дополнительная подготовка.
плохо	отсутствие владения материалом.

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Доказательство  $\Gamma \vdash_C A \Rightarrow \Gamma^g \vdash_M A^g$  по индукции: рассмотрите базу и шаги индукции для введения и удаления дизъюнкции. Здесь  $A^g$  есть результат перевода Гёделя-Генцена формулы  $A$ .
2. Постройте вывод формулы  $((A \rightarrow B) \rightarrow A) \rightarrow \neg\neg A$  в интуиционистской логике.
3. Постройте вывод формулы  $(A \leftrightarrow (A \rightarrow B)) \rightarrow A \wedge B$  в минимальной логике.  $F \leftrightarrow G$  есть сокращение для  $(F \rightarrow G) \wedge (G \rightarrow F)$ .

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все задачи решены в полном объеме без недочетов.
отлично	Все задачи решены с отдельными несущественными недочетами.
очень хорошо	Все основные задачи решены, но некоторые с недочетами.
хорошо	Все основные задачи решены с негрубыми ошибками.
удовлетворительно	Типовые задачи решены с негрубыми ошибками.
неудовлетворительно	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие минимальных умений решения задач. Невозможность оценить наличие умений.

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

Основная литература:

1. Кудрявцева И. А. Программирование: теория типов / Кудрявцева И. А., Швецкий М. В. - 2-е изд. ; пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 652 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/444496> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-11088-3 : 1679.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=786818&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Непейвода Н.Н. Прикладная логика : учебное пособие / Непейвода Н.Н. - Москва : Директ-Медиа, 2019. - 575 с. - ISBN 978-5-4499-0126-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=809035&idb=0>.

2. Программирование: математическая логика : учебное пособие / М. В. Швецкий, М. В. Демидов, А. В. Голанова, И. А. Кудрявцева. - 2-е изд. ; пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2023. - 675 с. -

(Высшее образование). - ISBN 978-5-534-11009-8. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=845223&idb=0>.

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

Язык Racket: <https://racket-lang.org>.

## **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.