

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 искусственного интеллекта

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.04 Современные проблемы искусственного интеллекта 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-2: Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1: Знает современные математические методы решения прикладных задач ОПК-2.2: Умеет совершенствовать математические методы решения прикладных задач ОПК-2.3: Имеет навыки создания новых математических методов решения прикладных задач	ОПК-2.1: Знать: определение и свойства исчисления индуктивных конструкций; аксиомы и правила вывода логики высших порядков; отличие классической и конструктивной логик; соответствие Карри-Говарда; тактики и команды системы интерактивных доказательств Coq. ОПК-2.2: Уметь: записывать алгоритмы на языке функционального программирования; формулировать спецификации алгоритмов в виде формул логики высших порядков; строить формальные доказательства утверждений в системе Coq. ОПК-2.3: Владеть навыками: чтения и записывания математических утверждений в виде формул; составления подробных неформальных доказательств для их последующей формализации.	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы Проект Задачи

ПК-3: Способен представлять результаты проведенной работы в области профессиональной деятельности	<p>ПК-3.1: Знает методы подготовки отчетов, статей, докладов, презентаций, публикаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-3.2: Умеет оформлять отчеты, статьи, доклады, презентации по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p> <p>ПК-3.3: Имеет опыт подготовки отчетов, докладов, статей, презентаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-3.1: Знать: основы системы компьютерной вёрстки LaTeX; возможности пакета Beamer для создания презентаций; основные принципы создания эффективной презентации.</p> <p>ПК-3.2: Уметь: сочетать строгость и ясность при составлении доказательств, предназначенных для чтения людьми; составлять информативную презентацию и эффективно объяснять результаты своей работы.</p> <p>ПК-3.3: Владеть навыками: представления результатов своей работы и изучения перед аудиторией.</p>	Реферат	Экзамен: Доклад-презентация
---	---	---	---------	--------------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	6
Часов по учебному плану	216
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- 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/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Пропозициональная и предикатная логика в Соq.	44	8	8	16	28
2. Лямбда-исчисление с простыми и зависимыми типами. Введение в соответствие Карри-Говарда.	23	4	4	8	15
3. Написание программ и доказательство их спецификаций.	44	8	8	16	28
4. Индуктивные типы и предикаты.	44	8	8	16	28
5. Доказательства с использованием рефлексии	23	4	4	8	15
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	216	32	32	66	114

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Натуральный вывод для классической и интуиционистской логики. Основные тактики Соq. Пропозициональное равенство и равенство по определению. Арифметика Пеано. Автоматические тактики для доказательства арифметических фактов. Поиск в стандартной библиотеке.

2. Лямбда-исчисление с типами. Зависимые суммы и произведения. Извлечение программ из доказательств.

3. Индуктивные типы и сорт Pgor. Разрешимые предикаты в программах. Верификация поиска максимума в массиве. Индукция с несколькими базами и параметрами. Определение и упрощение рекурсивных функций.

4. Индуктивные типы. Принципы индукции и рекурсии. Зависимые и независимые типы для рекурсии. Индуктивное определение логических связок и соответствующих правил вывода. Индуктивные предикаты. Тактики для работы с индуктивными типами.

5. Использование правила конверсии для рефлексии. Доказательство простоты чисел. Доказательство равенства арифметических выражений с использованием ассоциативности.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

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.

Макаров Е.М. Верификация алгоритмов в системе компьютерных доказательств Coq. Курс лекций. Нижний Новгород: ННГУ, 2022. URL: <https://evgenymakarov.github.io/unnfcs2019>.

Крупский В.Н., Кузнецов С.Л. Компьютерный практикум по математической логике: Coq. МГУ, 2013.

Брагилевский В.Н. Соответствие Карри-Ховарда. Дубна, 2017.

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 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.

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

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

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?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Задание решено полностью, или решена основная его часть, или задание решено с

Оценка	Критерии оценивания
	недочетами.
не зачтено	Задание не решено или сделан только первый этап решения.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Каждая группа студентов, выполняющая проект, должна написать реферат по теме проекта. Реферат должен содержать формулировку доказываемого результата, его неформализованное доказательство на русском языке, а также описание сложностей, встреченных во время исполнения проекта, и способов их преодоления.

Критерии оценивания (оценочное средство - Реферат)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Подробное, ясное и верное изложение требуемого результата и его доказательства.
не зачтено	Формулировка результата содержит ошибки. Доказательство непонятно или содержит пробелы.

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	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 и 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Понятие исчисления. Примеры исчислений. Допустимые и производные правила вывода.
2. Натуральный вывод для классической пропозициональной логики. Допустимые правила вывода.
3. Правила вывода для кванторов в натуральном выводе для классической предикатной логики. Ограничения на переменные. Примеры выводов.
4. Сопоставление лямбда-термов выводам в пропозициональной логике (соответствие Карри-Говарда). Соответствие между редукциями на термах и редукциями на выводах.
5. Сопоставление лямбда-термов выводам в предикатной логике (соответствие Карри-Говарда). Соответствие между редукциями на термах и редукциями на выводах.
6. Основные тактики *Soq* для пропозициональной логики. Соответствующие правила вывода, их допустимость.
7. Основные тактики *Soq* для предикатной логики. Соответствующие правила вывода, их допустимость.
8. Механизм разделов. Релятивизация определений и теорем по отношению к переменным и гипотезам после закрытия раздела.
9. Редукции термов в *Soq*. Правило конверсии. Пропозициональное равенство и равенство по определению, разрешимость последнего. Использование равенства по определению в доказательствах.
10. Представление арифметики Пеано в *Soq*. Тактика *rewrite*.
11. Автоматические тактики для доказательства арифметических фактов. Различия между тактиками и командами в *Soq*. Основные команды. Поиск в стандартной библиотеке.
12. Зависимые произведения и суммы. Импликация как частный случай квантора всеобщности. Использование этого соответствия для нахождения подстановочных примеров универсальных утверждений.
13. Индуктивные типы, соответствующие принципы индукции. Примеры, включая натуральные числа и списки. Различие между сортом *Prop* и типом *bool*. Разрешимые предикаты.
14. Индуктивные предикаты, соответствующие принципы индукции.
15. Извлечение программ из конструктивных доказательств.
16. Сравнение тактик *induction* и *destruct*. Доказательства по индукции утверждений с несколькими переменными.
17. Доказательства с помощью рефлексии. Примеры.

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

Оценка	Критерии оценивания
	рядом ошибок.
неудовлетворительно	владение материалом недостаточно, необходима дополнительная подготовка.
плохо	отсутствие владения материалом.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Проект) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Проект)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Программа компилируется без ошибок и работает правильно. Используемый алгоритм является эффективным. Исходный код правильно оформлен, снабжен комментариями и использует лучшие практики программирования.
отлично	Программа компилируется без ошибок и работает правильно. Используемый алгоритм является эффективным. Оформление кода и комментарии содержат незначительные погрешности.
очень хорошо	Программа компилируется без ошибок и работает правильно. Используемый алгоритм является эффективным. Оформление кода содержит незначительные погрешности. Используемый алгоритм содержит отдельные неэффективности. Недостаточно комментариев.
хорошо	Программа компилируется без ошибок и работает правильно. Оформление кода содержит погрешности. Эффективность алгоритма можно улучшить. Недостаточно комментариев.
удовлетворительно	Программа компилируется без ошибок, но не во всем работает правильно. Оформление кода непоследовательное. Эффективность алгоритма можно

Оценка	Критерии оценивания
	улучшить. Комментарии отсутствуют.
неудовлетворительно	Программа не компилируется или работает неправильно. Алгоритм неэффективный. Оформление кода непоследовательное.
плохо	Программа не компилируется или не была сдана преподавателю.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Постройте натуральный вывод формулы $\forall x \neg A \rightarrow \neg \exists x A$.
2. Докажите допустимость правила вывода, которое выводит формулу $A \vee B \rightarrow C$ из $A \rightarrow C$ и $B \rightarrow C$.
3. Напишите индуктивный тип со следующим принципом индукции.
`forall (X Y : Type) (P : foo X Y -> Prop),
(forall x : X, P (bar X Y x)) ->
(forall y : Y, P (baz X Y y)) ->
(forall f1 : nat -> foo X Y,
(forall n : nat, P (f1 n)) -> P (quux X Y f1)) ->
forall f2 : foo X Y, P f2`

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.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Доклад-презентация) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Каждая группа студентов, выполняющая проект, должна сделать доклад-презентацию по теме проекта. Презентация должна содержать формулировку доказываемого результата, план и основные элементы его доказательства, а также описание сложностей, встреченных во время исполнения проекта, и способов их преодоления.

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 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.

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

Основная литература:

1. 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, 2022. - 675 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/495357> (дата обращения: 14.08.2022). - ISBN

978-5-534-11009-8 : 2189.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт".,
<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=818449&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Смирнова Н. Н. Верификация и тестирование программных систем : учебное пособие для вузов / Смирнова Н. Н. - Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2014. - 35 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-85546-787-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=714349&idb=0>.

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

Макаров Е.М. Верификация алгоритмов в системе компьютерных доказательств Coq. Курс лекций. Нижний Новгород: ННГУ, 2022. URL: <https://evgenymakarov.github.io/unnfcs2019>.
Система интерактивных доказательств Coq. URL: <https://coq.inria.fr>.
Работа с Coq в браузере. URL: <https://coq.vercel.app>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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.