Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет вычислительной математики и кибернетики

УТВЕРЖДАЮ

декан факультета вычислительной
математики и кибернетики

_____/И.А. Соколов /

«14» октября 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Задачи разрешимости логических формул и приложения»

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки / специальность:

01.04.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)

Направленность (профиль) ОПОП:

Искусственный интеллект в кибербезопасности

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и утверждена
на заседании Ученого совета факультета ВМК
(протокол №4, от 29 сентября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 10 января 2018 г. N 13.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:
Дисциплина (модуль) относится к обязательной части основной профессиональной образовательной программы.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:
учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре и теории вероятностей в объеме, соответствующем программе обучения основных образовательных программ бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки» и другим направлениям подготовки бакалавриата.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Содержание и код компетенции.	**Индикатор (показатель) достижения компетенции**	**Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций**
ОПК-1. Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики	ОПК-1.1. . Приобретает и адаптирует математические, естественнонаучные, социально-экономические, общеинженерные знания и знания в области когнитивных наук для решения основных, нестандартных задач создания и применения искусственного интеллекта. ОПК-1.2. Решает основные, нестандартные задачи создания и применения искусственного интеллекта, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, с применением математических, естественно-научных, социально-экономических, общеинженерных знаний и знаний в области когнитивных наук ОПК-1.3. . Проводит теоретическое и экспериментальное исследование объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте	ОПК-1.1 З-2 ЗНАТЬ: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения. ОПК-1.2. У-1 УМЕТЬ: применять актуальные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения. ОПК-1.3 В-1 ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения.

ОПК-2. Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1. Использует основные инструменты прикладной статистики для решения задач профессиональной деятельности ОПК-2.2. Выбирает оптимальные инструменты статистического анализа данных для решения прикладных задач интеллектуального анализа данных ОПК-2.3 Применяет современные информационно-коммуникационные и интеллектуальные компьютерные технологии, инструментальные среды, программно-технические платформы для решения задач в области создания и применения искусственного интеллекта.	ОПК-2.1 З-1 (М-СПК-3) ЗНАТЬ: способы оценки качества как реализуемых, так и уже существующих методов и алгоритмов для задач разрешимости логических формул. ОПК-2.2. У-2 УМЕТЬ: выбирать, разрабатывать и проводить экспериментальную проверку работоспособности методов и алгоритмов решения систем решения логических формул. ОПК-2.3. В-1 ВЛАДЕТЬ: навыками выбора и оценки способов разработки и реализации методов и алгоритмов решения систем решения логических формул.
ОПК-8. Способен осуществлять эффективное управление проектами по разработке и внедрению систем искусственного интеллекта	ОПК-8.1. Исследует архитектуру информационных систем предприятий и организаций; применяет методологии и технологии реинжиниринга, проектирования и аудита информационных систем различных классов ОПК-8.2. Применяет инструментальные средства поддержки технологии проектирования и аудита информационных систем и сервисов; методы оценки экономической эффективности и качества, управления надежностью и информационной безопасностью ОПК-8.3. Исследует особенности процессного подхода к управлению информационными системами и системами искусственного интеллекта; применяет системы управления качеством	ОПК-8.1. З-1. Знает новые научные принципы и методы реинжиниринга, проектирования и аудита информационных систем для решения профессиональных задач ОПК-8.1. У-1. Умеет разрабатывать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач ОПК-8.2. З-1. Знает особенности модернизации программного и аппаратного обеспечения информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных задач ОПК-8.2. У-1. Умеет модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем для решения профессиональных Задач

	ОПК-8.4. Выбирает методологию и технологию проектирования информационных систем; обосновывает архитектуру информационных систем и систем искусственного интеллекта ОПК-8.5. Управляет проектами по созданию (модификации) программного обеспечения, на всех стадиях жизненного цикла, оценивает эффективность и качество проекта; применяет современные методы управления проектами по разработке и внедрению систем искусственного интеллекта ОПК-8.6. Использует инновационные подходы к проектированию информационных систем и систем искусственного интеллекта; принимает решения по информатизации предприятий в условиях неопределенности ОПК-8.7. Проводит реинжиниринг прикладных и информационных процессов	ОПК-8.3. З-1. Знает особенности процессного подхода к управлению информационными системами и системами искусственного интеллекта; системы управления качеством ОПК-8.3. У-1. Умеет применять системы управления качеством ОПК-8.4. З-1. Знает методологию и технологию проектирования информационных систем ОПК-8.4. У-1. Умеет обосновывать архитектуру информационных систем и систем искусственного интеллекта ОПК-8.5. З-1. Знает особенности управления проектами по созданию (модификации) программного обеспечения на всех стадиях жизненного цикла, ОПК-8.5. У-1. Умеет оценивать эффективность и качество проекта; применять современные методы управления проектами и сервисами информационных систем и систем искусственного интеллекта ОПК-8.6. З-1. Знает инновационные подходы к проектированию информационных систем и систем искусственного интеллекта ОПК-8.6. У-1. Умеет принимать решения по информатизации предприятий в условиях неопределенности ОПК-8.7. З-1. Знает особенности процессного подхода, принципы реинжиниринга прикладных и информационных процессов ОПК-8.7. У-1. Умеет проводить реинжиниринг прикладных и

		информационных процессов

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 36 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

В курсе рассматриваются способы решения задач разрешимости логических формул. Рассматриваются алгоритмы решения SAT (Boolean satisfiability problem) и SMT (satisfiability modulo theories) задачи. Затрагиваются способы решения прикладных задач разреши мости логических формул, такие как model checking, symbolic execution, генерация кода. Приводятся способы оптимизации алгоритмов решения SAT и SMT, а именно оптимизации CDCL и DPLL алгоритмов.

Наименование и краткое содержание разделов и тем	**Всего (часы)**	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	**Самостоятельная работа обучающегося, часы из них**

дисциплины (модуля), **форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	**Всего**
Тема 1 Введение в радачи разрешимости логических формул: основные концепции, технологии и приложения.	2	2					2	4		4
Тема 2 Пропозиционная логика и нормальные формы.	8	4					4	8		8
Тема 3 Введение в SAT-решатели. Сведения задач к SAT-задаче.	12	6					6	12		12
Тема 4 Введение SMT-решатели. Ленивый алгоритм.	8	4					4	8		8
Тема 5 SAT-решатели: алгоритм Conflict-Driven Clause Learning.	8	4					4	8		8

Тема 6 SMT-решатели: DPLL(T) фреймворк.	8	4					4	8		8
Тема 7 Теории: равенства и неинтерпритируемых функций, линейной арифметики, векторов битов и массивов.	10	6					6	12		12
Тема 8 Приложения: Symbolic execution, Model checking, Синтез программ.	12	6					6	12		12
Промежуточная аттестация экзамен										
Итого	108	36					36			72

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания

Примерные практические контрольные задания для текущего контроля успеваемости.

Задача 1. (10 баллов)
Даны булевы переменные $x_1,...,x_5$. Постройте две разные булевы формулы в форме КНФ, которые выражают следующую формулу: $x_1 + \ldots x_5 \leq 2$. Первая должна содержать только переменные $x_1, \ldots, x_5$, вторая - дополнительные переменные.

Задача 2. (10 баллов)
Обозначим первую формулу как AtMostTwoA, вторую -AtMostTwoB. Представьте в виде КНФ формулы y_1 = AtMostTwoA(x_1,...,x_5), y_2 = AtMostTwoB(x_1,...,x_5).

Задача 3. (5 баллов)
Напишите формулу, выражающую следующее утверждение: существует оценка x_1, . . . , x_5, такая, что не выполняется y_1 и выполняется y_2, используя y_1 = AtMostTwoA(x_1,...,x_5), y_2 = AtMostTwoB(x_1,...,x_5).

Задача 4. (5 баллов)
Проверьте получившуюся формулу на SAT-решателе и предоставьте результат вычисления.

Задача 5. (10 баллов)
Рассмотрим квадратную таблицу 10 × 10 и все возможные прямоугольники внутри сетки, длина и ширина которых не менее 2. Напишите следующую формулу: существует ли раскраска сетки с использованием трех цветов, чтобы ни один такой прямоугольник не имел одинакового цвета в своих четырех углах.

Задача 6. (10 баллов)
Решите заданную формулу на SAT решателе и по результату решателя (если формула разрешима) постройте нужную таблицу.

Задача 7. (10 баллов)
Напишите на языке программирования Python генератор формулы colorA(n) в формате DIMACS для задачи о том, что существует 2 - раскраска положи- тельных чисел от 1 до n такая, что для любого целочисленного решения a + b = c т.ч. $1 \leq a < b < c \leq n$ выполняется, что b и c не имеют одинаковый цвет. (Подсказка: для каждого целого числа используйте булеву переменную x_i. x_i равно true означает, что i раскрашен в первый цвет, и равно false, если i раскрашен во второй цвет).

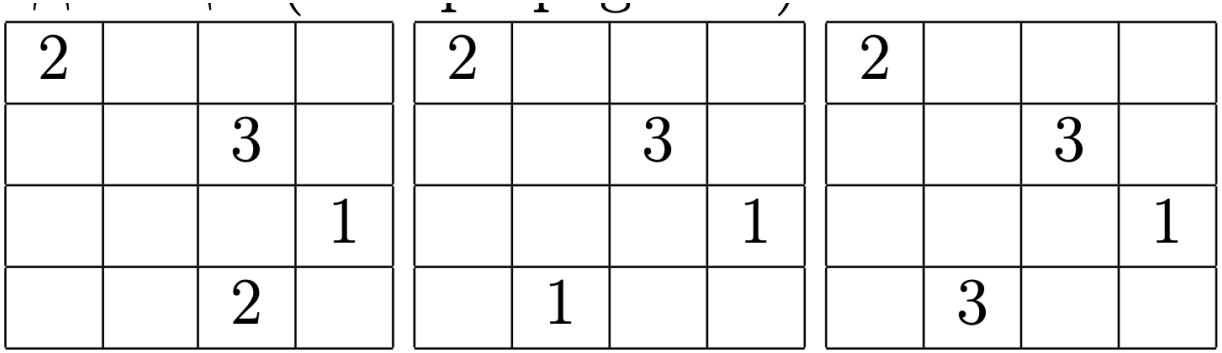
Задача 8. (10 баллов)
Напишите на языке программирования Python генератор формулы colorB(n) в DIMACS формате для задачи о том, что существует ли 2 - раскраска положительных чисел от 1 до n такая, что для любого целочисленного решения уравнения $a^2+b^2=c^2$ ($1 \leq a < b < c \leq n$) выполняется, что b и c не имеют одинаковый цвет. (Подсказка: для каждого целого числа используйте булеву переменную x_i. x_i равно true означает, что i раскрашен в первый цвет, и равно false, если i раскрашен во второй цвет).

Задача 9. (10 баллов)

Используйте указанный выше в задаче 8 генератор, чтобы построить формулу colorB(7). Рассмотрим начальные шаги CDCL, в которых $x_1 = 1$, $x_3 = 1$. Распространение единиц приводит к конфликту. Нарисуйте граф импликации и вычислите первую единичную точку импликации этого графа.

Задача 10. (10 баллов)
Напишите на языке программирования Python общий генератор в формате DIMACS для головоломок n-судоку, т.е. для пустого поля.

Задача 11. (5 баллов)
Рассмотрим три поля судоку. Какое из них можно решить с помощью распространения единицы? Выберите поле, которое можно решить с помощью распространения единицы (unit propagation).



Задача 12. (5 баллов)
Рассмотрим три приведенных выше поля судоку. Какие из них выполнимы? Перечислите все удовлетворяющие оценки полей в виде списка истинных литералов.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Список вопросов для экзамена.

1. Пропозиционная логика и нормальные формы. Способы привидения формулы к нормальной форме.
2. SAT-решатели. Сведения задач к SAT-задаче и способы кодирования задач.
3. SAT-решатели: алгоритм Conflict-Driven Clause Learning.
4. SAT-решатели: основные эвристики.

5. SMT-решатели. Ленивый алгоритм.
6. SMT-решатели: DPLL(T) фреймворк.
7. Теории: равенства и неинтерпритируемых функций.
8. Теории: линейной арифметики.
9. Теории: векторов битов.
10. Теории: массивов.
11. Приложения: Symbolic execution.
12. Приложения: Model checking.
13. Приложения: Синтез программ.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Особенности организации процесса обучения

Для эффективного освоения курса рекомендуется перед каждым занятие привести в порядок конспекты лекций. После каждого занятия рекомендуется найти и прочитать дополнительную литературу по теме лекции и прочитать свои конспекты.

Система контроля и оценивания

За каждую домашнюю выставляются баллы (максимум 40 баллов). Пусть M – максимальное число баллов, которое может набрать студент. В конце семестра баллы конвертируются в оценку O1 следующим образом:

меньше M/2 баллов: O1=2;

больше или равно M/2 баллов, но меньше 2M/3: O1=3;

больше или равно 2M/3 баллов, но меньше 5M/6: O1=4;

больше или равно 5M/6 баллов: O1=5.

На экзамене оценка O1 является стартовой. Окончательная оценка определяется исходя из оценки устного ответа студента, при этом она не может отличаться от стартовой оценки более чем на 1 балл.

Структура и график контрольных мероприятий

Сдача домашних заданий, устный экзамен в конце семестра.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5

РО и соответствующие виды оценочных средств				
Знания *Экзамен*	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения *Практические задания*	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) *Экзамен, практические занятия*	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:
7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. Москва, "Физико-математическая литература", 2015 г., 250 с.
2. Набебин А.А. Логика и Пролог в дискретной математике. М., Изд-во МЭИ, 2007.
3. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: model checking. Изд-во МЦНМО, Москва, 2002, 405 с.

Дополнительная литература:

1. Сидельников В.М. Теория кодирования.ФИЗМАТЛИТ,Москва, 2008, с. 322.
2. Логачев О.А., Сальников А.А., Смышляев С.В., Ященко В.В. Булевы функции в теории кодирования и криптологии. ЛЕНАНД, Москва, 2015, с. 576.
3. Э. Берлекэмп. Алгебраическая теория кодирования. Москва «Мир», 1971.
4. Т. Касами, Н. Токура, Ё. Ивадари, Я. Инагаки. Теория кодирования. Москва «Мир», 1978.

7.2.Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производстваПри реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программное обеспечение для создания и просмотра pdf-документов Adobe Reader
2. Издательская система LaTeX.

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. http://www.edu.ru – портал Министерства образования и науки РФ
2. http://www.ict.edu.ru – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. http://www.openet.ru - Российский портал открытого образования
4. http://www.mon.gov.ru - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. http://www.fasi.gov.ru - Федеральное агентство по науке и инновациям

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Math-Net.Ru [Электронный ресурс] : общероссийский математический портал / Математический институт им. В. А. Стеклова РАН ; Российская академия наук, Отделение математических наук. - М. : [б. и.], 2010. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: http://www.mathnet.ru
2. Университетская библиотека Online [Электронный ресурс] : электронная библиотечная система / ООО "Директ-Медиа" . - М. : [б. и.], 2001. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц. URL: www.biblioclub.ru
3. Универсальные базы данных East View [Электронный ресурс] : информационный ресурс / East View Information Services. - М. : [б. и.], 2012. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: www.ebiblioteka.ru
4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : информационный портал / ООО "РУНЭБ" ; Санкт-Петербургский государственный университет. - М. : [б. и.], 2005. - Загл. с титул. экрана. - Б. ц.
URL: www.eLibrary.ru

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Факультет, ответственный за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально -технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет. Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база факультета соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

Холин Роман Вадимович, Гамаюнов Денис Юрьевич.

10. Язык преподавания - русский.