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 /**

**«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Математическая логика и логическое программирование**

**Уровень высшего образования:**

**бакалавриат**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (3++)**

**Направленность (профиль):**

**Математические методы обработки информации и принятия решений**

**Форма обучения:**

**очная**

**Москва 2023**

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.03.02, 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы бакалавриата Утвержден приказом МГУ от 30 августа 2019 года № 1041 (в редакции приказов МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109, от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404, от 2 ноября 2022 года № 1299)

**1.** Дисциплина относится к базовой части ОПОП ВО.

**2.** Входные требования для освоения дисциплины (модуля): учащиеся должны владеть знаниями поматематической логике и логическому программированию в объеме, соответствующем программе четвертого года обучения основных образовательных программ бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

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

Компетенции выпускников, частично формируемые при реализации дисциплины (модуля):

* **ОПК-1.Б** Способность применять и адаптировать существующие математические и компьютерные методы для разработки и реализации алгоритмов решения актуальных задач в области фундаментальной и прикладной математики
* **ОПК-2.Б** Способность применять и модифицировать математические модели, а также интерпретировать полученные математические результаты при решения задач в области профессиональной деятельности
* **ПК-2.Б**Способность понимать и применять в научно-исследовательской деятельности современный математический аппарат

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

**Знать:**

1. принципы устройства, понятия и свойства логико-математических теорий;
2. синтаксис и семантику классической логики предикатов, интуиционистской логики, модальных логик, темпоральных логик, дескриптивных логик;
3. основные свойства отношений выполнимости и выводимости для перечисленных выше классов логик;
4. основные принципы логического программирования;
5. алгоритмические возможности логических программ
6. основные методы применения аппарата логического вывода для проверки правильности программ;
7. принципы построения и верификации моделей распределенных программ.

**Уметь:**

1. строить логических формул адекватно выражающих утверждения естественных языков и, в частности, математические утверждения;
2. применять на практике методы построения логического вывода для доказательства общезначимости или противоречивости логических формул;
3. проектировать простейшие логические программы и анализировать их вычисления;
4. применять язык математической логики и аппарат логического вывода для решения задачи проверки правильности программ.

**Владеть:**

1. классической логикой предикатов как универсальным языком представления знаний;
2. аппаратом логического вывода как средством анализа логических формул и вычисления логических программ;
3. навыками проектирования и анализа вычислений логических программ.

**4.** Формат обучения: лекции с применением мультимедийных средств обучения и семинарские занятия проводятся с использованием меловой доски.

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

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),****Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего****(часы**) | В том числе |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)****Виды контактной работы, часы** | **Самостоятель-ная работа обучающегося,** **часы**  |
| Занятия лекционного типа\* | Занятия семинарского типа\* | **Всего** |
| 1. Законы формальной логики и их применение в информатике. История развития математической логики. Логические парадоксы.
 | **6** | 4 | 0 | **4** | **2** |
| 1. Классическая логика предикатов первого порядка.Синтаксис и семантика классической логики предикатов первого порядка. Теорема о логическом следовании.
 | **8** | 4 | 2 | **6** | **2** |
| 1. Семантические таблицы и табличный вывод.Табличный вывод как средство доказательства общезначимости логических формул. Теоремы корректности и полноты табличного вывода.
 | **8** | 4 | 2 | **6** | **2** |
| 1. Метод резолюций в логике предикатов. Нормальные формы логических формул. Эрбрановские интерпретации. Алгоритм унификации термов. Резолютивный вывод как средство проверки противоречивости систем дизъюнктов.Теоремы корректности и полноты резолютивного вывода. Стратегии резолютивного вывода.Вычислительные возможности резолютивного вывода.
 | **18** | 12 | 4 | **16** | **2** |
| 1. Текущий контроль успеваемости: коллоквиум
 | **2** | 0 | 0 | **0** | **2** |
| 1. Основы хорновского логического программирования. Синтаксис хорновских логических программ. Декларативная и операционная семантики хорновских логических программ. Теоремы корректности и полноты операционной семантики хорновских логических программ относительно декларативной семантики. Деревья SLD-резолютивных вычислений. Алгоритмическая полнота хорновского логического программирования.
 | **12** | 6 | 4 | **10** | **2** |
| 1. Принципы реализации систем логического программирования. Принцип устройства интерпретатора логических программ. Операторы отсечения и отрицания. Встроенные предикаты.
 | **12** | 6 | 4 | **10** | **2** |
| 1. Интуиционистская логика. Модели Крипке для интуиционистской логики. Особенности интуиционистской логики.
 | **6** | 4 | 0 | **4** | **2** |
| 1. Модальные логики и логики представления знаний. Разнообразие модальных логик. Семантика Крипке для модальных логик. Эпистимические логики и их применение в информатике. Темпоральные логики и их применение в информатике. Дескриптивные логики.
 | **6** | 4 | 0 | **4** | **2** |
| 1. Теоретико-доказательный метод верификации моделей программ. Логика Хоара. Методы доказательства частичной корректности программ.
 | **5** | 2 | 1 | **3** | **2** |
| 1. Темпоральные логики и верификация моделей программ. Размеченные системы переходов. Темпоральная логика линейного времени LTL. Задача верификации моделей программ для LTL. Табличный метод решения задачи верификации моделей программ.
 | **7** | 4 | 1 | **5** | **2** |
| 1. Аксиоматические системы в математике. Аксиоматическое описание евклидовой планиметрии. Аксиоматическая теория множеств. Формальная арифметика. Результаты Геделя о неполноте формальной арфметики.
 | **6** | 4 | 0 | **4** | **2** |
| Промежуточная аттестация: письменный экзамен | **12** | 0 | 0 | **0** | **12** |
| **Итого** | **108** | **54** | **18** | **72** | **36** |

**7. Фонд оценочных средств (ФОС)для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

**7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

**Вопросы к коллоквиуму.**

1. Синтаксис и семантика логики предикатов. Термы, формулы, интерпретация. Отношение выполнимости формулы на интерпретации.
2. Выполнимость, общезначимость, противоречивость формул логики предикатов. Примеры общезначимых и противоречивых формул логики предикатов. Модель. Логическое следствие. Теорема о логическом следствии.
3. Проблемы выполнимости и общезначимости. Пример формулы, не имеющей конечных моделей.
4. Семантические таблицы в логике предикатов. Табличный вывод. Теорема корректности табличного вывода.
5. Теорема полноты табличного вывода.
6. Теорема Лёвенгейма-Сколема. Теорема компактности Мальцева.
7. Равносильные формулы. Примеры равносильных формул. Теорема о равносильной замене.
8. Предваренная нормальная форма. Теорема о приведении формулы к предваренной нормальной форме.
9. Сколемовская стандартная форма. Теорема о приведении формулы к сколемовской стандартной форме.
10. Эрбрановский универсум, эрбрановский базис, эрбрановские интерпретации. Теорема об эрбрановской модели для сколемовской стандартной формы. Сведение проблемы общезначимости формул к проблеме противоречивости систем дизъюнктов. Теорема Эрбрана.
11. Подстановки. Применение подстановок к термам и формулам. Композиция подстановок. Унификатор. Наиболее общий унификатор.
12. Сведение задачи унификации к задаче решения системы термальных уравнений. Лемма о связке. Алгоритм унификации. Теорема о корректности и завершаемости алгоритма унификации.
13. Метод резолюций для логики предикатов: правила резолюции и склейки, резолютивный вывод. Теорема корректности резолютивного вывода.
14. Лемма о подъеме. Теорема полноты резолютивного вывода для логики предикатов.
15. Общая схема доказательства общезначимости формул логики предикатов методом резолюций. Стратегии резолютивного вывода.

Билет для коллоквиума содержит 12 вопросов, например:

**Вопрос 1.** Используя константные, функциональные и предикатные символы алфавита (см. Приложение 2), построить замкнутую формулу логики предикатов, соответствующую следующему утверждению.

“ Какова бы ни была последовательность действительных чисел и отрезок [a,b] действительных чисел, если бесконечно много элементов этой последовательности содержится в данном отрезке, то хотя бы одна предельная точка данной последовательности также содержится в этом отрезке”

**Вопрос 2.** Для заданной формулы ϕ выяснить, применяя метод семантических таблиц, является ли эта формула общезначимой.

**∃x (∀y P(x,y) → R(x)) →∀z ∀y (P(z,y) ∨ R(y))**

**Вопрос 3.** Для заданной формулы ϕ выяснить (применяя методрезолюций), является ли эта формула общезначимой.

**∀x (∀y∃v∀u ((A(u,v) →B(y,u)) & (¬∃wA(w,u) →∀zA(z,v))) →∃yB(x,y))**

**Вопрос 4.**Какая формула называется логическим следствием множества замкнутых формул **Γ**? Сформулируйте теорему о логическом следствии. Существует ли такое множество предложений **Γ**, логическим следствием которого является любая замкнутая формула?

**Вопрос 5.** Известно, что для семейств замкнутых формул **Γ, Δ**семантическая таблица **〈Γ,Δ〉** не имеет ни одного успешного табличного вывода. Какие из приведенных ниже утверждений всегда справедливы и почему?

1. Система формул **Γ**имеет хотя бы одну модель, потому что....
2. Система формул **Δ**имеет хотя бы одну модель, потому что....
3. Ни одна формула **ψ∈Δ** не является общезначимой, потому что....
4. Ни одно из перечисленных выше утверждений не верно, потому что...

**Вопрос 6.** Пусть **S** – некоторое множество дизъюнктов, а **S′** – множество всех формул, которые встречаются хотя бы в одно резолютивном выводе из множества дизъюнктов **S**. Какие из приведенных ниже утверждений справедливы и почему?

1. Если **S** – непротиворечивое множество формул, то и **S′**– непротиворечивое множество.
2. Если **S** – противоречивое множество формул, то и **S′**– противоречивое множество.
3. Если **S′** – непротиворечивое множество формул, то и **S**– непротиворечивое множество.
4. Если **S′** – противоречивое множество формул, то и **S**– противоречивое множество.
5. Одно из утверждений неверно, но какое именно, зависит от конкретного множества формул **S**.

**Вопросы к экзамену**.

**Язык логики предикатов**

1. Синтаксис и семантика логики предикатов. Термы, формулы, интерпретация. Отношение выполнимости формулы на интерпретации.
2. Выполнимость, общезначимость, противоречивость формул логики предикатов. Примеры общезначимых и противоречивых формул логики предикатов. Модель. Логическое следствие. Теорема о логическом следствии.
3. Проблемы выполнимости и общезначимости. Пример формулы, не имеющей конечных моделей.
4. Семантические таблицы в логике предикатов. Табличный вывод. Теорема корректности табличного вывода.
5. Теорема полноты табличного вывода.
6. Теорема Лёвенгейма-Сколема. Теорема компактности Мальцева.
7. Равносильные формулы. Примеры равносильных формул. Теорема о равносильной замене.

#### Метод резолюций

1. Предваренная нормальная форма. Теорема о приведении формулы к предваренной нормальной форме.
2. Сколемовская стандартная форма. Теорема о приведении формулы к сколемовской стандартной форме.
3. Эрбрановский универсум, эрбрановский базис, эрбрановские интерпретации. Теорема об эрбрановской модели для сколемовской стандартной формы. Сведение проблемы общезначимости формул к проблеме противоречивости систем дизъюнктов. Теорема Эрбрана.
4. Подстановки. Применение подстановок к термам и формулам. Композиция подстановок. Унификатор. Наиболее общий унификатор.
5. Сведение задачи унификации к задаче решения системы термальных уравнений. Лемма о связке. Алгоритм унификации. Теорема о корректности и завершаемости алгоритма унификации.
6. Метод резолюций для логики предикатов: правила резолюции и склейки, резолютивный вывод. Теорема корректности резолютивного вывода.
7. Лемма о подъеме. Теорема полноты резолютивного вывода для логики предикатов.
8. Общая схема доказательства общезначимости формул логики предикатов методом резолюций. Стратегии резолютивного вывода.

#### Основы логического программирования

1. Использование метода резолюций для нахождения ответов на запросы. Истолкование резолютивного вывода как вычисления. Примеры вычислительных возможностей резолютивного вывода.
2. Хорновские дизъюнкты. Синтаксис языка логического программирования: логические программы и запросы. Декларативная семантика логических программ. Правильный ответ.
3. SLD-резолюция. SLD-резолютивные вычисления (опровержения) логических программ. Процедурная интерпретация SLD-выводов. Примеры SLD-опровержений успешных, тупиковых и бесконечных. Вычислимый ответ. Операционная (процедурная) семантика логических программ.
4. Теорема корректности SLD-резолютивных вычислений логических программ.
5. Теоремы полноты SLD-резолютивных вычислений логических программ.
6. Правило вычислений и его роль. R-вычислимый ответ. Переключательная лемма. Теорема о независимости правила вычислений. Теорема сильной полноты SLD-резолюции.
7. Дерево SLD-вычислений логических программ. Стратегии вычислений. Полные и неполные стратегии вычислений. Стандартная стратегия исполнения логических программ. Неполнота стандартной стратегии.
8. Управление исполнением логических программ. Оператор отсечения. Операционная семантика оператора отсечения.
9. Отрицание в Прологе. Допущение замкнутости мира. Отрицание как неудача. Эффект немонотонности вычислений логических программ с оператором отрицания.
10. Встроенные предикаты и функции. Операционная семантика встроенных средств.
11. Теорема о вычислительной универсальности чистого Пролога. Теорема Чёрча о неразрешимости логики предикатов первого порядка.

#### Неклассические прикладные логики

1. Интуиционистская логика. Модели Крипке для интуиционистской логики. Примеры интуиционистски общезначимых и необщезначимых формул. Модальные логики. Модели Крипке для модальных логик. Эпистемические логики. Темпоральные логики.
2. Проблема верификации последовательных программ. Операционная семантика типовых программных конструкций. Предусловие и постусловие. Частичная корректность программ. Тройки Хоара и их содержательный смысл. Правила вывода в логике Хоара для доказательства частичной корректности последовательных программ.
3. Моделирование программ системами переходов. Темпоральная логика высказываний линейного времени (LTL): синтаксис и семантика. Применение темпоральных логик для спецификации поведения реагирующих программных систем.
4. Задача проверки выполнимости формул LTL на конечной модели. Равносильные преобразования формул LTL. Табличный алгоритм проверки выполнимости формул LTL на конечной модели: основные этапы.

Экзаменационная контрольная работа состоит из 5 задач, проверяющих навыки использования методов математической логики и логического программирования для решения практических задач, 5 вопросов, проверяющих знание основных понятий и математических утверждений, и 4 задач, проверяющих умение применять понятия и методы математической логики для решения теоретических задач

Пример контрольной экзаменационной работы.

**Задача 0.** Слово – это конечный непустой список букв фиксированного конечного алфавита. Текст – это конечный непустой список слов. Построить логическую программу, которая для заданного текста **L** вычисляет одно из слов **X**, имеющее наибольшую длину среди всех тех слов текста, которые встречаются в этом тексте наиболее часто. Запрос к программе должен иметь вид ?**G(L,X)**.

**Задача 1.** Используя константные, функциональные и предикатные символы алфавита (см. Приложение 2), построить замкнутую формулу логики предикатов, соответствующую следующему утверждению.

“Каковы бы ни были две последовательности действительных чисел, если одна из них сходится к нулю, а другая ограничена, то и произведение этих последовательностей сходится к нулю”

**Задача 2.** Для заданной формулы ϕ выяснить, применяя метод семантических таблиц, является ли эта формула общезначимой.

**(∀x R(x) &∃y (P(y) →¬R(y))) →¬∀x P(x)**

**Задача 3.** Для заданной системы дизъюнктов **S** выяснить, применяя метод резолюций, является ли система **S**противоречивой или нет.

**S={ Q(v,v); ¬Q(v, u) ∨¬P(u, v); Q(u,v) ∨¬P(a, u) ∨ R(v,v); ¬R(a,u) ∨ Q(v, u); P(v, f(u)) }**

**Задача 4.** Для заданного запроса **G=? A(x), B(x)**  к заданной логической программе построить на основе стандартной стратегии вычислений (с использованием операторов отсечения и отрицания) дерево SLD-резолютивных вычислений и определить множество вычислимых ответов.

**: A(b) ← ;**

**A(a) ← not(B(b)), !;**

**A(f(b)) ← B(b), !;**

 **A(c) ←not(B(c)), !, A(b); B(f(x)) ← A(x);**

 **B(c) ←A(a), !, B(b);B(b) ← A(b);**

**B(a) ← ;**

**Вопрос 5.** Привести определение интерпретации для динамической логики.

**Вопрос 6.** Что означает корректность резолютивного вывода ?

**Вопрос 7.** Что такое множество успехов хорновской логической программы?

**Вопрос 8.** Привести пример полной стратегии построения SLD-вычислений хорновской логической программы?

**Вопрос 9.** Известно, что множества замкнутых формул **Γ** и **Δ** не имеют ни одной общей модели, не будучи при этом противоречивыми. Какие из приведенных утверждений справедливы и почему?

1. Семантическая таблица **〈Γ,Δ〉**не имеет успешного табличного вывода, потому что...
2. Семантическая таблица **〈Γ,Δ〉**не является выполнимой, потому что...
3. Семантическая таблица **〈∅,Γ∪Δ〉** имеет успешный табличный вывод, потому что...
4. Не существует формулы, которая являлась бы логическим следствием как множества формул **Γ,** так и множества формул **Δ**, потому что...
5. Все приведенные выше утверждения неверны.

**Вопрос 10.** Известно, что в семантическом дереве для семейства дизъюнктов **S** на каждом ярусе имеется непустое множество опровергающих узлов. Какие из приведенных ниже утверждений наверняка неверны и почему?

1. Семейство дизъюнктов **S** имеет эрбрановскую модель.
2. Формула **∀xP(x) →∃x¬P(x)** не является логическим следствием множества дизъюнктов **S**.
3. Ни в каком семантическом дереве для семейства дизъюнктов **S** нельзя выделить бесконечное множество опровергающих узлов.
4. Справедливость или несправедливость всех приведенных выше утверждений зависит конкретного множества **S**.

**Вопрос 11.** Пусть  **-** хорновская логическая программа, **T** - оператор непосредственного логического следования для , и **I′**, **I″** - эрбрановские интерпретации для программы . Какие из приведенных ниже утверждений справедливы и почему?

1. Всегда справедливо соотношение **T (I′∪I″) ⊂T ( I′ ) ∪T ( I″),** потому что....
2. Всегда справедливо соотношение **T (I′∪I″) ⊃T ( I′ ) ∪T ( I″),** потому что....
3. Множества **T (I′∪I″)** и **T ( I′ ) ∪T ( I″)** несравнимы**,** потому что...
4. Справедливость указанных выше соотношений между множествами **T (I′∪I″)** и **T ( I′ ) ∪T ( I″)** зависит от конкретных интерпретаций **I′**и **I″** , потому что ...

**Вопрос 12.** Известно, что запрос **?P(x)**  кхорновской логической программе не имеет успешных вычислений. Каким может быть ответ на запрос **? not(P(c))** к логической программе ? Выберите из предложенных вариантов ответа на этот вопрос правильные и обоснуйте их.

1. Ответ на запрос **? not(P(c))** будет положительный независимо от программы , потому что....
2. Ответ на запрос **? not(P(c))** будет отрицательный независимо от программы , потому что....
3. Ответ на запрос **? not(P(c))** может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от программы , потому что....
4. На запрос **?not(P(c))** может быть вообще не получено никакого ответа, потому что....

|  |
| --- |
| **ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)**  |
| ОценкаРО исоответствующие виды оценочных средств  | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Знания***Коллоквиум,**Экзамен* | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| **Умения***Коллоквиум,**Экзамен* | 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)***Коллоквиум,**Экзамен* | 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 |

|  |
| --- |
| **Соответствие результатов обучения и компетенций, в развитии которых участвует дисциплина (модуль)** |
| Результаты обучения | Компетенция, с частичным формированием которой связано достижение результата обучения |
| **Знать:**1. принципы устройства, понятия и свойства логико-математических теорий;
2. основные принципы логического программирования;
3. принципы построения и верификации моделей распределенных программ.

**Уметь:**1. строить логических формул адекватно выражающих утверждения естественных языков и, в частности, математические утверждения;

**Владеть:**1. классической логикой предикатов как универсальным языком представления знаний;
 | ОПК-1.Б |
| **Знать:**1. синтаксис и семантику классической логики предикатов, интуиционистской логики, модальных логик, темпоральных логик, дескриптивных логик;
2. основные свойства отношений выполнимости и выводимости для перечисленных выше классов логик;
3. основные методы применения аппарата логического вывода для проверки правильности программ;

**Уметь:**1. применять на практике методы построения логического вывода для доказательства общезначимости или противоречивости логических формул;
2. применять язык математической логики и аппарат логического вывода для решения задачи проверки правильности программ.

**Владеть:**1. аппаратом логического вывода как средством анализа логических формул и вычисления логических программ;
 | ОПК-2.Б |
| **Знать:**1. алгоритмические возможности логических программ

**Уметь:**1. применять язык математической логики и аппарат логического вывода для решения задачи проверки правильности программ.

**Владеть:**1. навыками проектирования и анализа вычислений логических программ.
 | ПК-2.Б |

8. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. М.:Мир, 1983. 360 с.
2. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. Москва, "Физико-математическая литература", 1995 г., 250 с.
3. Метакидес Г., Нероуд А., Принципы логики и логического программирования. Москва, "Факториал", 1998, 288 с.
4. Братко И. Программирование на Прологе для искусственного интеллекта. М.:Мир, 1990. 560 с.
5. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: modelchecking. Изд-во МЦНМО, Москва, 2002, 405 с.
6. Логический подход к искусственному интеллекту (от модальной логики к логике баз данных). М.:Мир, 1998. 495 с.

Дополнительная литература:

1. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. М.:Наука, 1984. 319 с.
2. Верещагин Н.К., Шень А. Языки и исчисления. 2004.
3. Успенский В.А., Верещагин Н.К., Плиско В.Е. Вводный курс математической логики. 2004. 128 с.
4. Лавров И.А. Математическая логика. Учебное пособие для вузов. М.: Академия, 2006.
5. Колмогоров А.Н., Драгалин А.Г. Математическая логика. Серия "Классический университетский учебник". Изд.3, 2006, 240 с.
6. Ершов Ю.Л., Палютин Е.А. Математическая логика - М.: 1979.
7. Непейвода Н. Н. Прикладная логика. Новосибирск. 2000 г.

Материально-техническое обеспечение: Аудитория, снабженная мультимедийным проектором и экраном.

Аудитория с партами и меловой доской.

9. Язык преподавания - русский.

10. Преподаватели: профессор факультета ВМК МГУ В.А. Захаров,

доцент факультета ВМК МГУ В.В. Подымов.

11. Авторыпрограммы: профессор факультета ВМК МГУ В.А. Захаров.