

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Кубанский государственный университет»

Факультет компьютерных технологий и прикладной математики
Кафедра вычислительных технологий

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор
Хагуров Т.А.
подпись



«26» мая 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ **Б1.В.11 «ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ»**

Направление подготовки 02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) «Математическое и программное обеспечение
компьютерных технологий»

(наименование направленности (профиля) специализации)

Программа подготовки академический бакалавриат

(академическая /прикладная)

Форма обучения очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

(бакалавр, магистр, специалист)

Краснодар 2023

Рабочая программа дисциплины «Верификация программных систем» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

Программу составил(а):

Жуков Сергей Александрович, доцент, к. ф.-м. н., доцент



Рабочая программа дисциплины «Верификация программных систем» утверждена на заседании кафедры вычислительных технологий, протокол №8 от «03» мая 2023 г.

Заведующий кафедрой (разработчик) Вишняков Ю. М.



Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры вычислительных технологий, протокол №8 от «03» мая 2023 г.

Заведующий кафедрой (выпускающей) Вишняков Ю.М.



Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных технологий и прикладной математики, протокол №5 от «19» мая 2023 г.

Председатель УМК факультета



А.В. Коваленко

Рецензенты:

Гаркуша О.В., доцент кафедры информационных технологий ФБГОУ ВО «Кубанский государственный университет», кандидат физико-математических наук.

Схаляхо Ч.А., доцент КВВУ им. С.М. Штеменко, кандидат физико-математических наук, доцент

1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Верификация программных систем» - сформировать у студентов способность понимать и составлять функционально-логические спецификации создаваемых программ, а также знание основных методов проверки правильности таких программ.

1.2 Задачи дисциплины

В результате освоения дисциплины должны быть решены следующие основные задачи. Студент должен:

- знать основные понятия, подходы и методы спецификации программных систем, методы и технологии верификации программных систем;
- уметь применять базовые методы верификации;
- владеть технологиями, способствующими верификации программных систем.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Верификация программных систем» относится к части блока 1 «Дисциплины (модули) по выбору» учебного плана. В соответствии с рабочим учебным планом дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре очной формы обучения. Вид промежуточной аттестации: зачет, экзамен.

Для изучения дисциплины «Верификация программных систем» необходимо знание таких дисциплин, как «Алгебра», «Дискретная математика», «Основы программирования», «Теория алгоритмов и вычислительных процессов».

Знания, получаемые при изучении дисциплины «Верификация программных систем», используются при изучении таких дисциплин, как «Программирование для мобильных платформ», «Облачные вычисления», «Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты».

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине (<i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i>)
ПК-3. Способен приобретать и использовать организационно-управленческие навыки в конкретной профессиональной и социальной деятельности; разрабатывать, реализовывать и управлять процессами жизненного цикла программных продуктов	
ПК-3.1: Знает основные методы решения прикладных задач, современные методы информационных технологий.	Знает основные методы и средства спецификации прикладных систем, современные методы информационных технологий в области верификации программных систем.
ПК-3.2: Умеет корректно оформить результаты научного труда в соответствии с современными требованиями.	Умеет корректно оформить результаты логической проверки на соответствие программ и их спецификаций с учетом современных требований в области верификации программных систем.

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине (<i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i>)
ПК-3.3: Имеет практический опыт использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками.	Имеет практический опыт использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками в области верификации программных систем.
ПК-5. Способен применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии	
ПК-5.1. Знает основы разработки и реализации процессов жизненного цикла программного обеспечения.	Знает основы разработки и реализации процессов жизненного цикла надежного программного обеспечения и основные подходы к верификации программных систем.
ПК-5.2. Умеет приобретать и использовать организационно-управленческие навыки в профессиональной и социальной деятельности.	Умеет приобретать и использовать организационно-управленческие навыки в профессиональной и социальной деятельности применительно к задачам верификации программных систем.
ПК-5.3. Имеет практический опыт управления процессами жизненного цикла программных продуктов.	Имеет практический опыт управления процессами жизненного цикла программных продуктов в области верификации программных систем.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач.ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для студентов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр 7
		часы
Контактная работа в том числе:	72,5	72,5
Аудиторные занятия (всего):	68	68
В том числе:		
Занятия лекционного типа	34	34
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		
Лабораторные занятия	34	34
Иная контактная работа		
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,5	0,5

Самостоятельная работа (всего)		71,8	71,8
В том числе:			
Курсовая работа			
Проработка учебного (теоретического) материала		36	36
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)		20	20
Подготовка к лабораторным и практическим занятиям.) Подготовка к текущему контролю		15,8	15,8
Контроль:		35,7	35,7
Подготовка к экзамену		20	20
Подготовка к зачету		15,7	15,7
Общая трудоемкость	В часах	180	180
	В том числе контактная работа	72,5	72,5
	Зач. Ед.	5	5

2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины. Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре (очная форма)

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов					Внеаудиторная работа
		Всего	Аудиторная работа				
			Л	КСР	ЛР	Контроль	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Правильность программы и ее верификация	20	4		4	4	8
2	Формальные системы высказываний	30	6		6	6	12
3	Предикаты, их свойства и использование в спецификациях	50	8		12	14	16
4	Прикладная теория логической правильности программы	46	8	4	8	8	18
5	Системы программирования с поддержкой верификации	16	4		2		10
6	Автоматизация построения доказательств	17,5	4		2	3,7	7,8
	ИТОГО по разделам дисциплины	179,5	34	4	34	35,7	71,8
	Индивидуальная контролируемая работа (ИКР)	0,5					
	Общая трудоёмкость по дисциплине	180					

Примечание: Л – лекции, КСР – контролируемая самостоятельная работа, ЛР – лабораторные занятия, СР – самостоятельная работа студента.

2.3 Содержание разделов дисциплины

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Правильность программы и ее верификация	Смысл спецификации, верификации, валидации и тестирования, их различие. Место верификации в жизненном цикле программы.	Экзамен
2	Формальные системы высказываний	Высказывания, их классификация. Понятия доказательства, гипотезы, теоремы. Аксиоматическая теория высказываний. Теоремы дедукции, непротиворечивости и полноты.	Лабораторная работа, экзамен
3	Предикаты, их свойства и использование в спецификациях	Синтаксис и семантика предикатов. Классификация предикатов относительно интерпретации. Аксиоматическая теория предикатов. Теоремы дедукции, непротиворечивости и полноты для предикатов. Примеры прикладных теорий.	Лабораторная работа, зачет, экзамен
4	Прикладная теория логической правильности программы	Подход Флойда к верификации алгоритмов. Частичная и тотальная правильность программы. Сложность верификации. Структурированные программы. Нотация и аксиоматики Хоара для доказательства частичной правильности. Эвристики построения инвариантов. Метод потенциальных функций для доказательства тотальной правильности. Аксиоматика тотальной правильности.	Лабораторная работа, зачет, экзамен
5	Системы программирования с поддержкой верификации	Назначение системы программирования Dafny и ее архитектура. Структура Dafny-программы и ее характерные операторы.	Лабораторная работа, экзамен
6	Автоматизация построения доказательств	Классификация систем автоматизации доказательств – прuverов. Архитектура прuverов, принцип Дебрейна. Специальные формы для предикатов. Универсум Эрбрана и критерии выполнимости и общезначимости. Проблема выполнимости, алгоритм Дэвиса-Патнema-Лонгемана-Лавленда.	Лабораторная работа, экзамен

2.3.2. Занятия семинарского типа

Занятия семинарского типа – не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные занятия

№	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	Анализ высказываний и построение высказываний	Защита лабораторной работы
2	Аксиоматика пропозиционального исчисления	Защита лабораторной работы
3	Построение предикатов и утверждений в предметных областях	Защита лабораторной работы
4	Анализ структуры предикатов и их преобразования	Защита лабораторной работы
5	Аксиоматика исчисления предикатов	Защита лабораторной работы
6	Построение логических спецификаций программ	Защита лабораторной работы
7	Логический анализ утверждений о частичной правильности программ	Защита лабораторной работы
8	Доказательство частичной правильности программ, образованных серией присваиваний	Защита лабораторной работы
9	Доказательство частичной правильности программ с условиями	
10-11	Доказательство частичной правильности программ с циклами из присваиваний	Защита лабораторной работы
12	Построение инвариантов циклов на основе анализа постусловия для программы	Защита лабораторной работы
13	Доказательство частичной правильности программ с циклами, включающими условия	
14	Построение потенциальных функций для циклических программ	Защита лабораторной работы
15	Примеры доказательств тотальной правильности программ	Защита лабораторной работы
16	Практическая работа с системой Dafny	Защита лабораторной работы
17	Обзор возможностей основных SAT- SMT- решателей. Приведение логических выражений к специальному виду.	Защита лабораторной работы

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы не предусмотрены учебным планом.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1.	Смысл спецификации, верификации, валидации и тестирования, их различие. Место верификации в жизненном цикле программы.	1. Старолетов С.М. Основы тестирования и верификации программного обеспечения. – СПб: Лань, 2020. - 344 с. 2. Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир, 1984.– 416 с. 3. Дейкстра Э. Дисциплина программирования. – М.: Мир, 1978.– 276 с.
2.	Высказывания, их классификация. Понятия доказательства, гипотезы, теоремы. Аксиоматическая теория высказываний. Теоремы дедукции, непротиворечивости и полноты.	1. Игошин В.И. Элементы математической логики. – М.: Академия, 2019. - 314 с. 2. Судоплатов С.В., Овчинникова Е.В. Математическая логика и теория алгоритмов. - М.: Юрайт, 2023. – 207 с. 3. Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир, 1984.– 416 с.
3.	Синтаксис и семантика предикатов. Классификация предикатов относительно интерпретации. Аксиоматическая теория предикатов. Теоремы дедукции, непротиворечивости и полноты для предикатов. Примеры прикладных теорий.	1. Игошин В.И. Элементы математической логики. – М.: Академия, 2019. - 314 с. 2. Судоплатов С.В., Овчинникова Е.В. Математическая логика и теория алгоритмов. - М.: Юрайт, 2023. – 207 с. 3. Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир, 1984.– 416 с.
4.	Прикладная теория логической правильности программы	1. Старолетов С.М. Основы тестирования и верификации программного обеспечения. – СПб: Лань, 2020. - 344 с. 2. Непомнящий В.А., Рякин О.М. Прикладные методы верификации программ.- М.: Радио и связь, 1988. – 256 с. 3. Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир, 1984.– 416 с 4. Андерсон Р. Доказательство правильности программ. – М.: Мир, 1982.– 165 с. 5. Алагич С, Арбиб М. Проектирование корректных структурированных программ. – М.: Радио и связь, 1984.– 265 с.

5.	Назначение системы программирования Dafny и ее архитектура. Структура Dafny-программы и ее характерные операторы.	1. Старолетов С.М. Основы тестирования и верификации программного обеспечения. – СПб: Лань, 2020. - 344 с. 2. Непомнящий В.А., Рякин О.М. Прикладные методы верификации программ.- М.: Радио и связь, 1988. – 256 с. 3. Lucio P. A tutorial on using Dafny to construct verified software// https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.04481
6.	Автоматизация построения доказательств	1. Старолетов С.М. Основы тестирования и верификации программного обеспечения. – СПб: Лань, 2020. - 344 с. 2. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. – М.: Наука, 1983. – 360 с.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме, в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме, в форме электронного документа,

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Сем естр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
7	Л	Компьютерные презентации и обсуждение	34
	ЛР	Разбор конкретных ситуаций (задач) с использованием штатного ПО, выполнение тестов на знание терминологии, сведений из области верификации программных систем, программирование и аннотирование алгоритмов	34
<i>Итого:</i>			68

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Верификация программных систем».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме упражнений, разноуровневых задач и промежуточной аттестации в форме задач к зачету и вопросов и заданий к экзамену.

4.1 Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора	Результаты обучения	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	ПК-3.1: Знает основные методы решения прикладных задач, современные методы информационных технологий.	Знает основные методы и средства спецификации прикладных систем, современные методы информационных технологий в области верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Задания на зачете и вопросы на экзамене 1-28
2	ПК-3.2: Умеет корректно оформить результаты научного труда в соответствии с современными требованиями.	Умеет корректно оформить результаты логической проверки на соответствие программ и их спецификаций с учетом современных требований в области верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Задания на зачете и вопросы на экзамене 1-28
3	ПК-3.3: Имеет практический опыт использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками.	Имеет практический опыт использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического разыскания и описания, опыт работы с научными источниками в области верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Вопросы на экзамене 1-28
4	ПК-5.1. Знает основы разработки и реализации процессов жизненного цикла программного обеспечения.	Знает основы разработки и реализации процессов жизненного цикла надежного программного обеспечения и основные подходы к верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Задания на зачете и вопросы на экзамене 1-28
5	ПК-5.2. Умеет приобретать и использовать организационно-управленческие навыки в профессиональной и социальной деятельности.	Умеет приобретать и использовать организационно-управленческие навыки в профессиональной и социальной деятельности применительно к задачам верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Вопросы на экзамене 1-28
6	ПК-5.3. Имеет практический опыт управления процессами жизненного цикла программных продуктов.	Имеет практический опыт управления процессами жизненного цикла программных продуктов в области верификации программных систем.	опрос по теме, лабораторная работа	Задания на зачете и вопросы на экзамене 1-28

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (экзамен/зачёт)

Перечень заданий к зачету

1. Пусть $P(x)$ – предикат от одной свободной индивидуальной переменной x , принимающей вещественные значения, a, b – вещественные значения, при этом $a < b$. Средствами логики предикатов записать утверждение: $U(a, b, P) \equiv$ множество значений, на которых истинен предикат $P(x)$, является собственным подмножеством значений отрезка $[a, b]$.
2. Доказать частичную правильность
 $\{a \in \mathbb{N} \ \& \ b \in \mathbb{N}\}$
 $r := 0; x := b; \text{ while } x \neq 0 \text{ do } \{r := r + a; x := x - 1\}$
 $\{r = a * b\}$
3. Пусть $P(x)$ – предикат от одной свободной индивидуальной переменной x , принимающей вещественные значения, a, b – вещественные значения, при этом $a < b$. Средствами логики предикатов записать утверждение: $U(a, b, P) \equiv$ существует такое значение из отрезка $[a, b]$, что все значения меньшие этого не удовлетворяют предикату $P(x)$, а все большие него значения – удовлетворяют $P(x)$.
4. Доказать частичную правильность
 $\{x_0 \in \mathbb{N} \ \& \ y_0 \in \mathbb{N}\}$
while $x \neq y$ **do** {
if $x > y$ **then** $x = x - y$ **else** $y = y - x$
}; $z = x$
 $\{z = \text{gcd}(x_0, y_0)\}$
5. Пусть $P(x)$ – предикат от одной свободной индивидуальной переменной x , принимающей вещественные значения, a, b – вещественные значения, при этом $a < b$. Средствами логики предикатов записать утверждение: $U(a, b, P) \equiv$ предикат $P(x)$ истинен на некоторых значениях из отрезка $[a, b]$ и ложен для всех значений вне этого отрезка.
6. Доказать частичную правильность программы:
 $\{n \in \mathbb{N}\}$
 $i := 1; S := 0; \text{ while } i \leq n \text{ do } \{ S := S + i^2; i := i + 1 \}$
 $\{S = (n * (n + 1) * (2n + 1)) / 6\}$
7. Пусть $P(x)$ – предикат от одной свободной индивидуальной переменной x , принимающей вещественные значения, a, b – вещественные значения, при этом $a < b$. Средствами логики предикатов записать утверждение: $U(a, b, P) \equiv$ существует лишь два значения из отрезка $[a, b]$, на которых истинен предикат $P(x)$.

8. Доказать частичную правильность программы:

$$\{ n \in \mathbb{N} \}$$
$$i := 1; S := 0; \text{ while } i \leq n \text{ do } \{ S := S + i^3; i := i + 1 \}$$
$$\{ S = (n^2 * (n + 1)^2) / 4 \}$$

9. Доказать следующее утверждение, где x, y – целочисленные переменные:

$$\{ (x > 0) \ \& \ (x = 2 * y) \ \& \ (y > 1) \}$$
$$x := x + y;$$
$$\text{ while } x \neq y \text{ do } \{ x := x + 1; y := y + 2 \}$$
$$\{ x = y \}$$

10. Пусть $P(x)$ и $Q(x)$ – предикаты, имеющие индивидуальную переменную x , которая принимает целые неотрицательные значения из \mathbb{N} . Записать утверждение, что каждое значение, при котором истинен предикат $P(x)$, на единицу больше некоторого значения, на котором выполнен предикат $Q(x)$.

11. Пусть $P(x)$ и $Q(x)$ – предикаты, имеющие индивидуальную переменную x , которая принимает целые неотрицательные значения из \mathbb{N} . Записать утверждение о том, что множество значений индивидуальной переменной x , на котором истинен предикат $P(x)$, и множество значений индивидуальной переменной x , на котором истинен предикат $Q(x)$, почти совпадают, т.е. существует лишь конечное множество натуральных значений x , на которых предикаты $P(x)$ и $Q(x)$ принимают разные логические значения.

Перечень вопросов, которые выносятся на экзамен.

1. Смысл программной верификации и валидации. Отличие верификации программы от ее тестирования. Недостатки тестирования. Место верификации и тестирования в жизненном цикле программы.
2. Логические формулы с пропозициональными переменными. Смысл выполнимости, противоречия и тавтологии. Назначение аксиоматической системы (теории), ее состав, определение доказательства, теоремы. Пример аксиоматической системы.
3. Понятие гипотезы, расширенное понятие доказательства, с учетом гипотез, теоремы. Отношение следования и его свойства. Теорема дедукции.
4. Определение непротиворечивой теории. Связь между множеством тавтологий и множеством теорем в аксиоматической теории пропозициональных высказываний.
5. Понятие индивидуальной переменной, терма, предиката, использование кванторов, смысл свободных и связанных переменных, их свойства. Смысл терма свободного для индивидуальной переменной. Замкнутые логические формулы.
6. Определение интерпретации для логической теории, выполнимой/истинной логической формулы при заданной интерпретации. Определение общезначимой логической формулы.
7. Примеры общезначимых логических формул с кванторами. Правило *modus ponens* и правило обобщения.
8. Характеристика аксиом и правил вывода логической теории \mathcal{J} исчисления предикатов.

9. Смысл прикладной логической теории, ее отличия от исчисления предикатов Э. Пример прикладной логической теории.
10. Определение частичной и тотальной правильности программ. Необходимость выделения частичной правильности.
11. Смысл спецификации программы, состав спецификации. Сохранение частичной и тотальной правильности программы при замене входного предиката на более сильный, а выходного предиката на более слабый.
12. Смысл спецификации программы, состав спецификации. Связь между конъюнкциями/дизъюнкциями утверждений о частичной/тотальной правильности программы и конъюнкциями/дизъюнкциями постусловий в утверждениях о частичной/тотальной правильности программы.
13. Связь между тотальной и частичной правильностью. Проблема разрешения частичной правильности программ. Проблема проверки для предиката быть инвариантом программы.
14. Нотация Хоара для утверждений о частичной правильности. Аксиома и базовые правила вывода для утверждений о частичной правильности.
15. Производные правила вывода в аксиоматике частичной правильности.
16. Пример доказательства частичной правильности. Обоснование справедливости производного правила базовой операции через базовую аксиоматику (аксиому и базовые правила вывода).
17. Эвристики ослабления постусловия (теория воздушного шарика). Примеры использования.
18. Подход к доказательству завершимости программы с помощью потенциальных функций. Пример программы и обоснование ее завершимости с помощью потенциальных функций.
19. Задание и смысл тройки Хоара для утверждения о тотальной правильности. Правило вывода для утверждения о завершимости программы на основе потенциальной функции.
20. Правила вывода для доказательства тотальной правильности.
21. Назначение средств автоматизации доказательств, их классификация. Принцип де Брейна.
22. Назначение и характеристика языка Dafny. Структура системы программирования Dafny.
23. Задание логической формулы в предваренной форме. Полнота пренексного представления. Теоремы узкого исчисления предикатов, используемые для пренексного представления. Вид Π_1 – формул. Примеры формул в предваренной форме и Π_1 – формул.
24. Структура Π_1 – формулы. Примеры таких формул. Процесс сколемизации, пример сколемизации логической формулы.
25. Смысл эрбрановского универсума и его построение. Пример универсума Эрбрана. Получение основного примера (ground expression) логической формулы. Пример основного примера.
26. Теорема Эрбрана для Π_1 – формулы и Σ_1 – формулы. Пример использования. Значение теоремы Эрбрана для автоматизации доказательств.

27. Смысл SAT–проблемы, ее формы и алгоритм DPLL (Девиса, Патнема, Лонгмана, Лавленда).
28. Проблема выполнимости в математической теории. Алгоритмы элиминации кванторов в отдельных теориях. SMT–решатели и их связь с SAT–решателями.

Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента

обучающихся.

5 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

5.1 Учебная литература

5.1.1 Основная литература

1. Игошин В.И. Элементы математической логики. – М.: Академия, 2019. - 314 с.
2. Судоплатов С.В., Овчинникова Е.В. Математическая логика и теория алгоритмов. - М.: Юрайт, 2023. – 207 с.
3. Старолетов С.М. Основы тестирования и верификации программного обеспечения. – СПб: Лань, 2020. - 344 с.

5.1.2 Дополнительная литература

1. Дейкстра Э. Дисциплина программирования. – М.: Мир, 1978.– 276 с.
2. Грис Д. Наука программирования. – М.: Мир, 1984.– 416 с
3. Андерсон Р. Доказательство правильности программ. – М.: Мир, 1982.– 165 с.
4. Алагич С, Арбиб М. Проектирование корректных структурированных программ. – М.: Радио и связь, 1984.– 265 с.
5. Непомнящий В.А., Рякин О.М. Прикладные методы верификации программ.- М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
6. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. – М.: Наука, 1983. – 360 с.

5.1.3 Учебно-методическая литература

1. Гурин Р.Е., Рудаков И.В., Ребриков А.В. Методы верификации программного обеспечения.– Наука и образование. МГТУ им. Баумана. Электрон. журнал 2015, № 10, с. 235-251.
2. Lucio P. A tutorial on using Dafny to construct verified software// <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.04481>

5.2 Периодическая литература

1. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
2. Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>

5.3 Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Scopus <http://www.scopus.com/>

2. ScienceDirect www.sciencedirect.com
3. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
4. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
5. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
6. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
7. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
8. База данных CSD Кембриджского центра кристаллографических данных (CCDC) <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/>
9. Springer Journals <https://link.springer.com/>
10. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
11. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
12. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
13. Springer Journals Archive: <https://link.springer.com/>
14. Nano Database <https://nano.nature.com/>
15. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
16. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
17. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

Информационные справочные системы:

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

Ресурсы свободного доступа:

1. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
2. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
3. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/> ;
4. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/> ;
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/> ;
6. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .
7. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском" <https://pushkininstitute.ru/> ;
8. Справочно-информационный портал "Русский язык" <http://gramota.ru/> ;
9. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/> ;
10. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/> ;
11. Образовательный портал "Учеба" <http://www.ucheba.com/> ;
12. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy_i_otvety

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы

КубГУ:

1. Электронный каталог Научной библиотеки КубГУ <http://megapro.kubsu.ru/MegaPro/Web>
2. Электронная библиотека трудов учёных КубГУ <http://megapro.kubsu.ru/MegaPro/UserEntry?Action=ToDb&idb=6>
3. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
4. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
5. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru> ;

6. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>

7. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала «ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ» <http://icdau.kubsu.ru/>

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для освоения учебного материала студенту необходимо ознакомиться со структурой курса и методикой овладения материалом. Весь курс построен от простого к сложному, и каждая его тема основана на материалах предыдущих тем. В этой связи студенту необходимо не терять логику курса и строго ей следовать. В лекционном материале даются, как правило, теоретические сведения, которые раскрываются на практических примерах. Для закрепления теоретических знаний студент получает индивидуальное задание к циклу лабораторных работ, который охватывает весь теоретический материал. Каждая лабораторная работы защищается по мере выполнения. Таким образом, выполняя весь цикл лабораторных работ, студент получает и осваивает знания в соответствии с компетенциями курса. По выступлениям на круглом столе с преподавателем согласовывается тема выступления и готовится само выступление. Во время текущей аттестации могут проводиться контрольные опросы по начитанному теоретическому и практическому материалу.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся-инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа (ауд. 129, 131, А305).	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО)	PowerPoint, доступ к Microsoft Teams
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации ауд. 129, 131, А305	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, компьютер Оборудование: кондиционер	PowerPoint, доступ к Microsoft Teams
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ. Лаборатория (ауд. 102-106, А301-303).	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	системы программирования на языках высокого уровня, сетевой доступ к ресурсам, в частности С++, Object Pascal и пр. с возможностью многопользовательской

		работы
--	--	--------

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащённые компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащённость помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Доступ печатным и электронным информационным ресурсам
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. 146)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	системы программирования на языках C++ и Object Pascal с возможностью многопользовательской работы