

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Факультет компьютерных технологий и прикладной математики  
Кафедра вычислительных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
методу образования – первый  
проректор \_\_\_\_\_ Хагуров Т.А.  
«05» \_\_\_\_\_ 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
**Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ МЕТОДОМ  
MODEL CHECKING»**

Направление подготовки 02.04.02 Фундаментальная информатика и  
информационные технологии  
(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) "Интеллектуальные системы и технологии "  
(наименование направленности (профиля) специализации)

Программа подготовки академическая  
(академическая /прикладная)

Форма обучения очная  
(очная, очно-заочная, заочная)

Квалификация (степень) выпускника магистр  
(бакалавр, магистр, специалист)

Краснодар 2021

Рабочая программа дисциплины Б1.О.02 – Спецификация и верификация программ методом Model Checking составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

**Программу составил(а):**

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

Ф.И.О. ,должность, ученая степень, ученое звание



подпись

Рабочая программа дисциплины Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ МЕТОДОМ MODEL CHECKING» утверждена на заседании кафедры Вычислительных Технологий протокол № 6 «20» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Вишняков Ю. М.

фамилия, инициалы



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных технологий и прикладной математики, протокол №1 от «21 » мая 2021 г.

Председатель УМК факультета \_\_\_\_\_



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<sup>3</sup>

## 1.1. Цель освоения дисциплины

Целью преподавания и изучения дисциплины «Спецификация и верификация программ методом Model Checking» является формирование у магистрантов способности понимать и составлять функционально-поведенческие спецификации создаваемых реактивных систем, логические модели для таких систем, а также знать основные подходы и методы проверки выполнимости логических спецификаций на моделях реактивных систем.

## 1.2. Задачи дисциплины

Студент должен **знать** основные понятия, подходы и методы спецификации реактивных систем (программ, цифровых схем, коммуникационных протоколов), методы и технологии модельной проверки таких систем; **уметь** применять современные средства описания моделей реактивных систем и функционально-поведенческой спецификации; **владеть** технологиями модельной проверки реактивных систем на их соответствие заданным спецификациям.

## 1.3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Спецификация и верификация программ методом Model Checking» относится к базовой части блока Б1 Дисциплины (модули).

Для изучения дисциплины необходимо знание основ алгебры, дискретной математики, теории алгоритмов и вычислительных процессов. Знания, получаемые при изучении этой дисциплины, используются при изучении других дисциплин профессионального цикла учебного плана магистра (Параллельные базы данных, Организация и программное обеспечение встроенных и мобильных систем, Прикладные логики агентных систем), а также при работе над магистерской диссертацией.

## 1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование индикатора*                                                                                                                                                                                   | Результаты обучения по дисциплине<br>(знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности))                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ОПК-1. Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий</b>                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций.                                                                                                   | Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                                   |
| ОПК-1.2. Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты.                                                                                                | Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                                |
| ОПК-1.3. Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности.                                                                                         | Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                         |
| <b>ОПК-3. Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования</b>      |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ОПК-3.1. Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей.                       | Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                       |
| ОПК-3.2. Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем. | Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем в области спецификации и верификации программ методом Model Checking. |
| ОПК-3.3. Имеет практический опыт применения разработки программного обеспечения и тестирования программных продуктов.                                                                                            | Имеет практический опыт применения разработки программного обеспечения и тестирования программных продуктов в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                            |

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 работы                                                                   | Всего часов              | Форма обучения   |                  |                  |               |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
|                                                                              |                          | Очная            |                  | очно-заочная     | заочная       |
|                                                                              |                          | 3 семестр (часы) | X семестр (часы) | X семестр (часы) | X курс (часы) |
| <b>Контактная работа в том числе:</b>                                        | 36,3                     | 36,3             |                  |                  |               |
| <b>Аудиторные занятия (всего):</b>                                           | 36                       | 36               |                  |                  |               |
| В том числе:                                                                 |                          |                  |                  |                  |               |
| Занятия лекционного типа                                                     | 18                       | 18               |                  |                  |               |
| Занятия семинарского типа (семинары, практ. занятия)                         |                          |                  |                  |                  |               |
| Лабораторные занятия                                                         | 18                       | 18               |                  |                  |               |
| <b>Иная контрольная работа</b>                                               | 0,3                      | 0,3              |                  |                  |               |
| Контроль самостоятельной работы                                              |                          |                  |                  |                  |               |
| Промежуточная аттестация (ИКР)                                               | 0,3                      | 0,3              |                  |                  |               |
| <b>Самостоятельная работа, в том числе</b>                                   | 117                      | 117              |                  |                  |               |
| В том числе:                                                                 |                          |                  |                  |                  |               |
| Курсовая работа                                                              |                          |                  |                  |                  |               |
| <i>Проработка учебного (теоретического) материала</i>                        | 40                       | 40               |                  |                  |               |
| <i>Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)</i> | 50                       | 50               |                  |                  |               |
| <i>Реферат</i>                                                               |                          |                  |                  |                  |               |
| <i>Подготовка к текущему контролю</i>                                        | 27                       | 27               |                  |                  |               |
| Контроль: экзамен                                                            | 26,7                     | 26,7             |                  |                  |               |
| Подготовка к экзамену                                                        | 26,7                     | 26,7             |                  |                  |               |
| Общая<br>трудоёмкость                                                        | в час                    | 180              | 180              |                  |               |
|                                                                              | в т.ч. контактная работа | 36,3             | 36,3             |                  |               |

### 2.2. Содержание дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины.

Разделы дисциплины, изучаемые в 3 семестре (очная форма)

| №<br>раздела | Наименование разделов                             | Количество часов |                      |    |           |                              |
|--------------|---------------------------------------------------|------------------|----------------------|----|-----------|------------------------------|
|              |                                                   | Всего            | Аудиторная<br>работа |    |           | Внеауди-<br>торная<br>работа |
|              |                                                   |                  | Л                    | ПЗ | ЛР        | СРС                          |
| 1            | 2                                                 | 3                | 4                    | 5  | 6         | 7                            |
| 1.           | Моделирование реактивных систем                   | 18               | 4                    |    | 4         | 10                           |
| 2.           | Логическая спецификация реактивных систем         | 23               | 4                    |    | 5         | 14                           |
| 3.           | Темпоральные логики                               | 27               | 6                    |    | 6         | 15                           |
| 4.           | Модельная проверка                                | 31               | 10                   |    | 7         | 14                           |
| 5.           | Символьная верификация моделей                    | 30               | 10                   |    | 6         | 14                           |
| 6.           | Программный инструментарий для модельной проверки | 24               | 2                    |    | 8         | 14                           |
|              | <b>ИТОГО по разделам дисциплины</b>               | <b>153</b>       | <b>36</b>            |    | <b>36</b> | <b>81</b>                    |
|              | Контроль самостоятельной работы (КСР)             | 26,7             |                      |    |           |                              |
|              | Промежуточная аттестация (ИКР)                    | 0,3              |                      |    |           |                              |
|              | Подготовка к текущему контролю                    |                  |                      |    |           |                              |
|              | Общая трудоемкость по дисциплине                  | 180              |                      |    |           |                              |

Примечание: Л – лекции, КСР – контрольные и самостоятельные работы, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента, Д-доклад, РГЗ – расчетно-графическое задание.

## 2.3. Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1. Занятия лекционного типа

| №  | Наименование<br>раздела                   | Содержание раздела                                                                               | Форма<br>текущего<br>контроля |
|----|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1  | 2                                         | 3                                                                                                | 4                             |
| 1. | Моделирование реактивных систем           | Понятие реактивной системы (РС). Модель Крипке. Подход к описанию РС моделью Крипке. Пример.     | ЛР                            |
| 2. | Логическая спецификация реактивных систем | Логическое описание цифровой схемы моделью Крипке. Трансляция типовой программы в модель Крипке. | ЛР                            |
| 3. | Темпоральные логики                       | Характеристика темпоральной логики. Логики LTL, CTL и CTL*                                       | ЛР                            |

|    |                                                   |                                                                                                                                 |    |
|----|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. | Модельная проверка                                | Семантика темпоральной логики. Смысл модельной проверки. Автоматы Бюхи и их свойства. Алгоритмический базис модельной проверки. | ЛР |
| 5. | Символьная верификация моделей                    | Логические функции в форме OBDD. Топологическая трактовка темпоральных операторов. Алгоритмы вычисления неподвижных точек.      | ЛР |
| 6. | Программный инструментарий для модельной проверки | Характеристика систем SPIN, SMV. Назначение и возможности языка Promela.                                                        | ЛР |

### 2.3.2. Занятия семинарского типа (практические / семинарские занятия/ лабораторные работы)

#### 3-й семестр

| №  | Наименование лабораторных работ                                                                           | Форма текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                                                                                                         | 3                       |
| 1. | Построение моделей Крипке для цифровых схем и систем переходов                                            | Защита ЛР               |
| 2. | Построение моделей Крипке для последовательных программ                                                   | Защита ЛР               |
| 3. | Построение моделей Крипке для параллельных программ                                                       | Защита ЛР               |
| 4. | Использование темпоральных логик. Выполнимость формул на заданных моделях Крипке                          | Защита ЛР               |
| 5. | Построение автоматов Бюхи и их анализ на выявление компонент сильной связности.                           | Защита ЛР               |
| 6. | Построение OBDD для логических формул. Вычисление неподвижных точек заданных преобразователей предикатов. | Защита ЛР               |
| 7. | Применение языка Promela для спецификации и модельной проверки небольших систем.                          | Защита ЛР               |

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

### 2.3.3. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые проекты не предусмотрены

### 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. | Работа с лекционным материалом | 1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.<br>2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.: МЦНМО, 2002. – 416 с.<br>3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / |

|    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                           | <p>IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.</p> <p>4. Tarian R. Deph-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.</p> <p>5. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2. | Изучение теоретического материала к лабораторным занятиям | <p>1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.</p> <p>2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.:МЦНМО, 2002. – 416 с.</p> <p>3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.</p> <p>4. Tarian R. Deph-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.</p> <p>5. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.</p> |
| 3. | Подготовка к зачету                                       | <p>1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.</p> <p>2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.:МЦНМО, 2002. – 416 с.</p> <p>3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.</p> <p>4. Tarian R. Deph-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.</p> <p>5. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.</p> |

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)

| Семестр | Вид занятия (Л, ЛР) | Используемые интерактивные образовательные технологии                                                                   | Количество часов |
|---------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 11      | Л                   | Компьютерные презентации и обсуждение                                                                                   | 36               |
|         | ЛР                  | Разбор конкретных задач, задания на программирование моделей реактивных систем с использованием специализированного ПО. | 36               |
| Итого:  |                     |                                                                                                                         | 72               |

#### 4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Спецификация и верификация программ методом Model Checking».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме тестовых заданий, доклада-презентации по проблемным темам разделов дисциплины, разно уровневых заданий и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

##### Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

| № п/п | Код и наименование индикатора                                                                                                                                                                                    | Результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                          | Наименование оценочного средства   |                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
|       |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                              | Текущий контроль                   | Промежуточная аттестация |
| 1     | ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций.                                                                                                   | Обладает фундаментальными знаниями в области математических и естественных наук, теории коммуникаций в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                                   | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |
| 2     | ОПК-1.2. Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты.                                                                                                | Умеет осуществлять первичный сбор и анализ материала, интерпретировать различные математические объекты в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                                | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |
| 3     | ОПК-1.3. Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности.                                                                                         | Имеет практический опыт работы с решением математических задач и применяет его в профессиональной деятельности в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                         | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |
| 4     | ОПК-3.1. Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей.                       | Знает методы теории алгоритмов, методы системного и прикладного программирования, основные положения и концепции в области математических, информационных и имитационных моделей в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                       | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |
| 5     | ОПК-3.2. Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем. | Умеет соотносить знания в области программирования, интерпретацию прочитанного, определять и создавать информационные ресурсы глобальных сетей, образовательного контента, средств тестирования систем в области спецификации и верификации программ методом Model Checking. | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |
| 6     | ОПК-3.3. Имеет практический опыт применения разработки программного обеспечения и тестирования программных продуктов.                                                                                            | Имеет практический опыт применения разработки программного обеспечения и тестирования программных продуктов в области спецификации и верификации программ методом Model Checking.                                                                                            | опрос по теме, лабораторная работа | Вопросы на экзамен       |

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний,

умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Индивидуальные задачи (выполняются студентами самостоятельно и предоставляются в письменном виде).

### **Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен)**

Перечень вопросов, которые выносятся на экзамен.

1. Понятие реактивной системы и примеры реактивных систем. Постановка задачи модельной проверки и ее отличие от дедуктивной верификации.
2. Определение модели Крипке и развертка модели. Пример модели Крипке.
3. Логическое описание модели Крипке. Пример логического описания.
4. Логическое описание цифровой схемы. Пример описания цифровой схемы.
5. Типовой набор операторов последовательной программы и правила разметки последовательной программы.
6. Правила трансляции размеченной программы в систему логических формул.
7. Смысл условий справедливости, безопасности и живости. Выразимость условий справедливости в модели Крипке.
8. Темпоральные операторы LTL-логики и их свойства. Примеры использования.
9. Кванторы путей в дереве вычислений. Структура формул CTL-логики. Смысл формул путей и формул состояния. Примеры CTL-формул.
10. Структура формул CTL\*-логики. Сравнение LTL-логики, CTL-логики и CTL\*-логики.
11. Определение автомата Бюхи. Определение  $\omega$ -регулярного языка. Трансляция модели Крипке в автомат Бюхи.
12. Обобщенный автомат Бюхи. Определение  $\omega$ -регулярного языка для обобщенного автомата Бюхи. Теорема о консервативности.
13. Свойства замкнутости класса  $\omega$ -регулярных языков. Критерий непустоты  $\omega$ -регулярного языка, определенного заданным автоматом Бюхи.
14. Формулировка модельной проверки через проблему пустоты  $\omega$ -регулярного языка. Основные шаги алгоритма модельной проверки, основанной на применении автоматов Бюхи и проверки свойства пустоты.
15. Построение автомата Бюхи по заданной LTL-формуле. Представление состояний автомата, отношения переходов и семейства допускающих состояний.
16. Выразимость темпоральных операторов CTL-логики через EX, EG, EU и логические связки.
17. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики (за исключением случая формул с EU).
18. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики с оператором EU.
19. Алгоритм разметки состояний модели Крипке формулами CTL-логики с оператором EG.
20. Подход к разметке состояний модели Крипке формулами CTL-логики, учитывающий условия справедливости.
21. Подход к модельной проверке формулы CTL\*-логики.
22. Неразрешимость униформной модельной проверки.
23. Определение двоичного разрешающего дерева для заданной логической формулы и двоичной разрешающей диаграммы по нему. Правила построения упорядоченной двоичной разрешающей диаграммы – OBDD. Примеры OBDD.
24. Представление отношений и множеств упорядоченными двоичными разрешающими диаграммами – OBDD. Подход к представлению модели Крипке OBDD.
25. Преобразователь предикатов на множестве состояний модели Крипке. Свойства монотонности, непрерывности. Определение и смысл неподвижной точки преобразователя предикатов.
26. Свойства монотонных преобразователей предикатов. Вычисление неподвижных точек преобразователей предикатов.
27. Представление темпоральных операторов как неподвижных точек преобразователей предикатов.

28. Структура квантифицированных булевских формул и определение их значений.  
 29. Символьный алгоритм модельной проверки для CTL-формул.  
 30. Назначение и структура SPIN. Назначение и структура SMV.  
 31. Характеристика языка Promela. Типы, работа с каналами. Управление.  
 32. Задание процессных типов. Процесс init. Задание логических формул в Promela.

### 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. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.

### 5.1.2. Дополнительная литература:

1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.:МЦНМО, 2002. – 416 с.
3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.
4. Tarian R. Depth-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.

### 5.1.3. Учебно-методическая литература

1. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
2. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: ModelChecking. – М.:МЦНМО, 2002. – 416 с.
3. Bryant R.E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / IEEE Transactions on Computers, C-35(8), 1986, p. 677-691.
4. Tarian R. Depth-first search and linear graph algorithms / SIAM Journal on Computing, 1(2), 1972, p. 146-169.
5. Камкин А.С. Введение в формальные методы верификации программ. – М.:Макс Пресс, 2018. – 272 с.

## 5.2. Периодическая литература

1. Автоматика и вычислительная техника.
2. Реферативный журнал ВИНТИ
3. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
4. 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](http://www.biblioclub.ru)
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

### Профессиональные базы данных:

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>

7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
17. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
18. 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. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском" <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал "Русский язык" <http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал "Учеба" <http://www.ucheba.com/>;
14. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы [http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy\\_i\\_otvety](http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy_i_otvety)
15. Philology.ru [Электронный ресурс]: [филологический портал]. - Режим доступа:– <http://www.philology.ru/>, свободный (дата обращения: 2.02.2017) (библиотека филологических текстов (монографий, статей, методических пособий).
16. Языкознание.ру [Электронный ресурс] : [образовательный портал]. – Режим доступа:– <http://yazykoznanie.ru>, свободный (дата обращения: 2.02.2017) (ресурс для изучающих различные лингвистические дисциплины).
17. Linguists [Электронный ресурс]: [образовательный портал]. – Режим доступа: <http://linguists.narod.ru>, свободный (дата обращения: 12.02.2017) (Ресурсы для переводчиков и лингвистов, содержит список других сетевых ресурсов).
18. Лингвистика для школьников [Электронный ресурс]: [образовательный сайт]. – Режим доступа: –<http://lingling.ru/>, свободный (дата обращения: 2.02.2017).
19. COGNITIV [Электронный ресурс]: [образовательный портал]. – Режим доступа: <http://cognitiv.narod.ru>, свободный (дата обращения: 5.01.2017) (Сайт для ученых-языковедов всех специальностей (обмен новейшей информацией в области лингвистики; обсуждение фундаментальных и прикладных проблем языкознания, а также вопросов взаимоотношения языка, культуры и общества).

20. Лингвистический энциклопедический словарь [Электронный ресурс]: [он-лайн-словарь]. – Режим доступа: <http://lingvisticheskiy-slovar.ru/>, свободный (дата обращения: 17.01.2017).
21. Linguistics Dictionary Glossary Terms Lexicon Online [Электронный ресурс]: [образовательный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glossary.sil.org/>, свободный (дата обращения: 12.02.2017) (глоссарий, содержащий более 950 лингвистических терминов с перекрестными ссылками и списком источников (SIL International)).

#### **Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:**

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru/>;
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. 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 это 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**

| №  | Вид работ            | Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность                                                                                                                                                                                                                         |
|----|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Лекционные занятия   | Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО) PowerPoint. ауд. 129, 131, А305.                                                                                                                |
| 2. | Лабораторные занятия | Лаборатория, укомплектованная специализированными техническими средствами обучения – компьютерный класс, с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета (лаб. 102-106.). |

|    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | Групповые<br>(индивидуальные)<br>консультации    | Аудитория, (кабинет) – компьютерный класс                                                                                                                                                                                                  |
| 4. | Текущий контроль,<br>промежуточная<br>аттестация | Аудитория, приспособленная для письменного ответа при промежуточной аттестации.                                                                                                                                                            |
| 5. | Самостоятельная<br>работа                        | Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. |

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

| Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся                       | Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Перечень лицензионного программного обеспечения                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки) | Мебель: учебная мебель<br>Комплект специализированной мебели: компьютерные столы<br>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<br>Комплект специализированной мебели: компьютерные столы<br>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 |

| Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся | Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся | Перечень лицензионного программного обеспечения |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                               | Fi)                                                           |                                                 |