

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



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИМЫМИ
ЛОГИКАМИ»

Направление

подготовки/специальность 02.04.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) /

специализация Интеллектуальные системы и технологии

(наименование направленности (профиля) специализации)

Программа подготовки академическая магистратура

(академическая /прикладная)

Форма обучения очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Квалификация выпускника магистр

(бакалавр, магистр, специалист)

Краснодар 2020

Рабочая программа дисциплины Б1.О.02 «СПЕЦИФИКАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИМЫМИ ЛОГИКАМИ» 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 ВЫЧИСЛИМЫМИ ЛОГИКАМИ» утверждена на заседании кафедры Вычислительных Технологий протокол № 8 «15»мая 2020 г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Вишняков Ю. М.

фамилия, инициалы



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета Компьютерных Технологий и Прикладной Математики протокол № 2 от «22» мая 2020 г

Председатель УМК факультета Коваленко А.В.

фамилия, инициалы



подпись

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, к.ф.-м.н., доцент

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели освоения дисциплины

Целью преподавания и изучения дисциплины «Спецификация и верификация вычислимыми логиками» 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 в образовательной программе

Дисциплина «Спецификация и верификация вычислимыми логиками» 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, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В процессе освоения дисциплины у магистранта формируются следующие компетенции:

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1	ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы прикладной математики, фундаментальной информатики и информационных технологий	фундаментальные концепции и подходы в области создания надежных программных систем, а также знания, стандарты качества программных систем	использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной логики, фундаментальные	методами верификации и практических решений в области информационных технологий, а также знаний, которые

				концепции и средства специфицирования поведения сложных систем	находятся на передовом рубеже данной науки, инструментами проверки правильности архитектуры информационных систем
2	ОПК-3	Способен проводить анализ математических моделей, создавать инновационные методы решения прикладных задач профессиональной деятельности в области информатики и математического моделирования	фундаментальные концепции и подходы в области создания надежных программных систем, а также знания, стандарты качества программных систем	использовать углубленные теоретические и практические знания в области информационных технологий и прикладной логики, фундаментальные концепции и средства специфицирования поведения сложных систем	методами верификации практических решений в области информационных технологий, а также знаний, которые находятся на передовом рубеже данной науки, инструментами проверки правильности архитектуры информационных систем

2 Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 ЗЕТ (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		11
Аудиторные занятия (всего)	72,3	72,3
В том числе:		
Занятия лекционного типа	36	36
Лабораторные занятия	36	36
КСР		
ИКР	0,3	0,3
Самостоятельная работа (всего)	81	81
В том числе:		
Проработка учебного (теоретического) материала	81	81
Промежуточная аттестации	экзамен	экзамен
Контроль	26,7	26,7
Общая трудоемкость час зач. ед.	180 5	180

2.2 Структура дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины. Разделы дисциплины, изучаемые в 11 семестре.

№ Раздела	Наименование раздела	Количество часов						
		Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа	
			Лек	ЛР	КСР	ИКР	СРС	Контроль
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	51	2	8		0,3	14	26,7
7	Всего	180	36	36		0,3	81	26,7

2.3 Содержание разделов дисциплины

2.3.1 Занятия лекционного типа

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего 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

Учебным планом не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные работы

№ работы	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Построение моделей Крипке для цифровых схем и систем переходов

2	2	Построение моделей Крипке для последовательных программ
3	2	Построение моделей Крипке для параллельных программ
4–5	3	Использование темпоральных логик. Выполнимость формул на заданных моделях Крипке
6–8	4	Построение автоматов Бюхи и их анализ на выявление компонент сильной связности.
9–11	5	Построение OBDD для логических формул. Вычисление неподвижных точек заданных преобразователей предикатов.
12–14	6	Применение языка Promela для спецификации и модельной проверки небольших систем.

2.3.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Раздел 1. Примеры реактивных систем. Реактивные системы заданные в виде системы переходов. Примеры моделей Крипке. Развертка моделей Крипке. Модели Крипке для программ (последовательных и параллельных).

Раздел 2. Спецификация цифровых схем логическими формулами. Спецификация программ логическими формулами. Формулировка свойств справедливости в терминах модели Крипке. Свойства безопасности и живости и примеры их актуальности.

Раздел 3. Развертки моделей Крипке и кванторы путей. Выразимость темпоральных операторов в сокращенном базисе. Рекурсивные уравнения для операторов F, G, U, R. Сравнение логик LTL, CTL и CTL*. Формулировка свойств справедливости, безопасности и живости средствами темпоральных логик.

Раздел 4. Свойства замкнутости для автоматов Бюхи. Сравнение детерминированных и недетерминированных автоматов Бюхи. Алгоритм проверки непустоты ω -регулярного языка для заданного автомата Бюхи. Построение автомата Бюхи по заданной LTL-формуле. Алгоритм разметки состояний модели Крипке под формулами заданной CTL-формулы и его расширение для CTL*-логики.

Раздел 5. Построение OBDD для логических формул. Влияние упорядоченности переменных на размер OBDD. Построение OBDD для результирующей логической формулы по OBDD логических формул-операндов и логической операции. Анализ процедур Reduce, Apply для манипулирования с OBDD. Представление модели Крипке набором подходящих OBDD. Свойства монотонных преобразователей предикатов. Вычисление наименьшей и наибольшей неподвижных точек для преобразователя предикатов. Неподвижные точки для основных темпоральных операторов. Квантифицированные булевские формулы.

Раздел 6. Структура системы SPIN и порядок работы с ней в оконно-графическом и командном интерфейсе. Операторы языка Promela и организация Promela-программы. Организация системы SMV. Синтаксис и семантика входного языка SMV-системы.

3. Образовательные технологии

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- технология разноуровневого обучения (дифференцированное обучение);
- технология коллективного взаимодействия (организованный диалог, коллективный способ обучения).

Технология адаптивного обучения (индивидуализированное обучение).

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

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля

Фонд оценочных средств дисциплины состоит из средств текущего контроля выполнения заданий, лабораторных работ, средств для итоговой аттестации (экзамена в 11 семестре).

Оценка успеваемости осуществляется по результатам:

- выполнения лабораторных работ;
- ответов на экзамене (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины и практических навыков).

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

4.2.1 Перечень вопросов к экзамену

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 ω -регулярного языка. Трансляция модели Крипке в автомат Бюхи.
12. Обобщенный автомат Бюхи. Определение ω -регулярного языка для обобщенного автомата Бюхи. Теорема о консервативности.
13. Свойства замкнутости класса ω -регулярных языков. Критерий непустоты ω -регулярного языка, определенного заданным автоматом Бюхи.

14. Формулировка модельной проверки через проблему пустоты ω -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.

4.2.2 Образцы билетов

Билет №1

1. Смысл условий справедливости, безопасности и живости. Выразимость условий справедливости в модели Крипке.
2. Назначение и структура SPIN. Назначение и структура SMV.
3. Построить LTL-формулу, выражающую свойство “состояние, удовлетворяющее r , встречается самое большее один раз на каждом вычислении”. Построить модель Крипке, на которой эта формула выполняется.

Билет №2

1. Определение автомата Бюхи. Определение ω -регулярного языка. Трансляция модели Крипке в автомат Бюхи.

2. Представление отношений и множеств упорядоченными двоичными разрешающими диаграммами – OBDD. Подход к представлению модели Крипке OBDD.

Какое свойство модели Крипке выражается формулой:

3. $E(p_0 \ \& \ Xp_1 \ \& \ XXp_2 \ \& \ \dots \ \& \ X^n p_n)$, $p_0, p_1, \dots, p_n$ – атомарные предикаты, причем предикат p_k истинен только в состоянии s_k модели Крипке.

Постройте модель Крипке, удовлетворяющую этому свойству.

4.2.3 Критерии оценивания к экзамену

Оценка «отлично»:

- 1) по теоретическим вопросам даны точные формулировки алгоритмов, теорем и правильные доказательства; точные определения математических объектов и ясные и правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;
- 2) по практической части приведены достоверные результаты исследования и даны подробные пояснения.

Оценка «хорошо»:

- 1) по теоретическим вопросам – при ответе на один вопрос даны точные формулировки алгоритмов, теорем и правильные доказательства; точные определения математических объектов и ясные и правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями; при ответе на второй вопрос имеются неточности формулировки алгоритмов, теорем или пробелы в правильных доказательствах; недостаточно точные определения математических объектов или неясные и не совсем правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;
- 2) по практической части приведены достоверные результаты исследования и даны подробные пояснения.

Оценка «удовлетворительно»:

- 1) по теоретическим вопросам – при ответе на оба вопроса имеются неточности формулировки алгоритмов, теорем или пробелы в правильных доказательствах; недостаточно точные определения математических объектов или неясные и не совсем правильные определения объектов, характеризующихся неформализованными понятиями;
- 2) по практической части допускается, что по одному из вопросов приведены результаты исследования, значительно (более 50%) отличающиеся от теоретических оценок, и студент не может объяснить расхождение.

Оценка «неудовлетворительно»:

отсутствуют удовлетворительные ответы на два или более вопроса экзаменационного билета.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

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

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.

Программное обеспечение

1. Для ОС Windows: MinGW – Free Microsoft C Runtime and import library definitions.
2. Для ОС Linux, Unix – штатная система C-компилятора gcc.
3. Xspin – система SPIN с графическим интерфейсом под Tk/Tcl

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Лабораторные работы выполняются, как правило, в компьютерном классе. Отдельные работы могут выполняться в аудитории при наличии у магистрантов портативных компьютеров.

На лабораторных занятиях осуществляется проработка и закрепление методов и инструментария для модельной проверки систем учебного характера. По отдельным темам магистрантам поручается подготовить презентации и выступить с докладами на занятиях.

7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

7.1 Перечень информационных технологий

- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование электронных презентаций при проведении лекций и практических занятий.

7.2 Перечень необходимого программного обеспечения

Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft PowerPoint»).

7.3 Перечень информационных справочных систем:

Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru/>)

8. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются, как правило, в компьютерном классе. Отдельные работы могут выполняться в аудитории при наличии у магистрантов портативных компьютеров.

На лабораторных занятиях осуществляется проработка и закрепление методов и инструментария, соответствующих прорабатываемой теме. По отдельным темам магистрантам поручается подготовить презентации и выступить с докладами на занятиях.

9. 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 (индивидуальные) консультации	Аудитория, (кабинет) – компьютерный класс
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория, приспособленная для письменного ответа при промежуточной аттестации.
5.	Самостоятельная 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.