



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ШКОЛА)

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

 Артемьева И.Л.

«Утверждаю»

И.о. директора департамента

 Смагин С.В.
« 20 » июня 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Математические основы верификации программ

Направление подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

(Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных)

Форма подготовки очная

курс 2 семестр 3
лекции 36 час.
практические занятия 36 час.
лабораторные работы 0 час.
всего часов аудиторной нагрузки 72 час.
самостоятельная работа 36 час.
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.
контрольные работы (количество) не предусмотрены
курсовая работа/курсовой проект не предусмотрены
зачет не предусмотрен
экзамен 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 10.01.2018 № 13 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа составлена на основе разработанной и утвержденной Ученым советом факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (протокол № 7 от «29» сентября 2021 г.) РПД «Математические основы верификации программ».

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента программной инженерии и искусственного интеллекта ИМиКТ ДВФУ, протокол № 6.1а от «17» июня 2022 г.

И.о. директора департамента программной инженерии и искусственного интеллекта ИМиКТ ДВФУ
к.т.н. Смагин С.В.

Составитель (ли): профессор департамента ПИИИ ИМиКТ ДВФУ д.т.н. Артемьева И.Л., Захаров В.А. д.ф.-м.н., профессор, факультет ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова, Подымов В.В. к.ф.-м.н., доцент, факультет ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова.

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

Протокол от «_____» _____ 200 г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента:

Протокол от «_____» _____ 200 г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Рабочая программа дисциплины разработана при участии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий на разработку программ бакалавриата и программ магистратуры по профилю «искусственный интеллект», а также Программы развития «Образовательного комплекса по Искусственному Интеллекту» МГУ имени М.В. Ломоносова на период 2021-2024 гг. от 27 сентября 2021 г.

Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: изучение математических основ верификации программ для решения задачи верификации информационных систем при осуществлении руководства проектами по созданию, поддержке и использованию системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов, формирование у студентов умений и навыков создания систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств.

Задачи:

1. формирование у обучающихся навыков решения задачи верификации информационных систем;
2. развитие у обучающихся умений применять табличные, символьные и теоретико-автоматные методы верификации моделей программ;
3. развитие у обучающихся умений применять методы верификации информационных систем реального времени.
4. развитие у обучающихся умений применять метод повышения эффективности алгоритмов верификации.

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний по дискретной математике, компьютерным сетям, системам программирования.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции:

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Производственно-технологический	ПК-9 Способен руководить проектами по созданию, поддержке и использованию системы	ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи

	искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов	ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств
--	--	--

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения; применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> навыками применения современных инструментальных средств и систем программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей
ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	<i>Знает</i> принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта <i>Умеет</i> руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> методикой планирования и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей

1. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы 108 академических часов, в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (36 академических часов занятий лекционного типа, 36 академических часов занятий практического типа) и 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся (включая 27 часов на подготовку к экзамену).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам).

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
СР:	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
в том числе контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная

	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Контроль из часов на СР	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		
1	Тема 1. Назначение, устройство и основные алгоритмические задачи, возникающие при проектировании распределенных вычислительных систем.	3	8		8		8	27	Экзамен
2	Тема 2. Коммуникационные протоколы	3	10		10		10		
3	Тема 3. Основные распределенные алгоритмы	3	10		10		10		
4	Тема 4. Метод обеспечения отказоустойчивости распределенных систем	3	8		8		8		
8	Промежуточная аттестация (экзамен)	3					27		
	Итого:		36		36		36		

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Задача верификации информационных систем и общие подходы к ее решению	Задача верификации аппаратуры и программного обеспечения. Зачем нужна формальная верификация программ. Основные подходы к задаче формальной верификации. Принципы верификации моделей программ. Исторические сведения. Достижения методов формальной верификации программ. Алгоритмические и комбинаторные трудности применения метода верификации моделей программ. Общие принципы дедуктивной верификации программ. Операционная семантика императивных программ. Формальная постановка задачи верификации программ. Логика Хоара: правила вывода и свойства. Автоматизация проверки правильности программ. Моделирование схем. Системы переходов - модели Крипке. Представление систем переходов формулами логики предикатов первого порядка. Синхронные и асинхронные схемы. Степень детализации представления. Трансляция описаний программ и схем в модели Крипке
2.	Тема 2. Табличные, символьные и теоретико-автоматные методы верификации моделей программ	Темпоральная логика деревьев вычислений CTL. Синтаксис и семантика CTL. Примеры спецификаций моделей в терминах формул CTL. Темпоральная логика линейного времени PLTL. Синтаксис и семантика PLTL. Свойства живости и безопасности. Ограничения справедливости. Задача верификации моделей (model-

		<p>checking).</p> <p>Табличный алгоритм верификации моделей для CTL. Обоснование корректности и сложности табличного алгоритма верификации моделей. Проблема “комбинаторного взрыва”. Символьные средства описания моделей. Двоичные разрешающие диаграммы (BDD). Алгоритм редукции BDD к каноническому виду (OBDD). Выполнение операций над OBDD: унарные и бинарные булевы операции, квантификация, проверка выполнимости, подсчет числа единиц. Общие представления о сложности в классе OBDD</p> <p>Представления неподвижной точки в CTL. Алгоритм символьной верификации моделей в CTL. Табличная верификация моделей для PLTL. Обобщенные автоматы Бюхи, трансляция формул LTL в автоматы. Сведение задачи проверки выполнимости формул PLTL к проблеме пустоты для автоматов Бюхи. Алгоритм двойного поиска в глубину с возвратом (DDFS) для проверки пустоты автомата Бюхи.</p>
3.	Тема 3. Методы верификации информационных систем реального времени	<p>Временные автоматы как формальные модели распределенных систем реального времени. Вычисления временных автоматов. Примеры использования временных автоматов для моделирования встроенных систем. Зеноновские вычисления. Синтаксис и семантика Timed CTL. Примеры формальных спецификаций поведения встроенных систем при помощи TCTL. Задача верификации моделей программ реального времени. Отношение эквивалентности часов и регионы. Регионные системы переходов. Оценка числа регионов. Сведение задачи верификации временных автоматов относительно TCTL к задаче верификации моделей Крипке относительно CTL</p>
4.	Тема 4. Метод повышения эффективности алгоритмов верификации	<p>Отношения бисимуляционной эквивалентности (бисимуляции) и симуляционного квазипорядка (симуляции) на моделях Крипке.</p> <p>Равновыполнимость темпоральных формул на бисимуляционно эквивалентных моделях Крипке.</p> <p>Вычисление классов бисимуляционной эквивалентности на конечных моделях Крипке. Упрощение моделей Крипке при помощи отношений симуляции и ибисимуляции. Редукция моделей Крипке по конусу влияния. Абстракции данных при построении моделей Крипке.</p> <p>Верификация моделей программ для вычислений ограниченной длины (bounded model checking, BMC). Сведение задачи BMC к задаче проверки выполнимости булевых формул (SAT). Применение автоматических средств решения задачи SAT для решения задачи BMC</p> <p>Интерполяционная теорема Крейга для исчисления высказываний. Построение интерполянта на основе доказательства невыполнимости КНФ.</p> <p>Интерполяционный алгоритм МакМиллана</p>

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Практические занятия

Практическое занятие 1. Задача верификации информационных систем и общие подходы к ее решению.

1. Задача верификации аппаратуры и программного обеспечения.
2. Основные подходы к задаче формальной верификации.
3. Принципы верификации моделей программ.
4. Достижения методов формальной верификации программ.
5. Алгоритмические и комбинаторные трудности применения метода верификации моделей программ.
6. Общие принципы дедуктивной верификации программ.
7. Операционная семантика императивных программ.
8. Формальная постановка задачи верификации программ.
9. Логика Хоара: правила вывода и свойства.
10. Автоматизация проверки правильности программ.
11. Моделирование схем.
12. Системы переходов - модели Крипке.
13. Представление систем переходов формулами логики предикатов первого порядка.
14. Синхронные и асинхронные схемы.
15. Степень детализации представления.
16. Трансляция описаний программ и схем в модели Крипке.
17. Выполнение Контрольной работы.

Практическое занятие 2. Табличные, символьные и теоретико-автоматные методы верификации моделей программ.

1. Темпоральная логика деревьев вычислений CTL.
2. Синтаксис и семантика CTL.
3. Темпоральная логика линейного времени PLTL.
4. Синтаксис и семантика PLTL.
5. Свойства живости и безопасности.
6. Ограничения справедливости.
7. Задача верификации моделей (model-checking).
8. Табличный алгоритм верификации моделей для CTL.
9. Обоснование корректности и сложности табличного алгоритма верификации моделей.
10. Проблема “комбинаторного взрыва”.

11. Символьные средства описания моделей. Двоичные разрешающие диаграммы (BDD).
12. Алгоритм редукции BDD к каноническому виду (OBDD).
13. Выполнение операций над OBDD: унарные и бинарные булевы операции, квантификация, проверка выполнимости, подсчет числа единиц.
14. Общие представления о сложности в классе OBDD
15. Представления неподвижной точки в CTL.
16. Алгоритм символьной верификации моделей в CTL.
17. Табличная верификация моделей для PLTL.
18. Обобщенные автоматы Бюхи, трансляция формул LTL в автоматы.
19. Сведение задачи проверки выполнимости формул PLTL к проблеме пустоты для автоматов Бюхи.
20. Алгоритм двойного поиска в глубину с возвратом (DDFS).
21. Выполнение Контрольной работы.

Практическое занятие 3. Методы верификации информационных систем реального времени.

1. Временные автоматы как формальные модели распределенных систем реального времени.
2. Вычисления временных автоматов.
3. Зеноновские вычисления.
4. Синтаксис и семантика Timed CTL.
5. Задача верификации моделей программ реального времени.
6. Отношение эквивалентности часов и регионы.
7. Регионные системы переходов.
8. Оценка числа регионов.
9. Сведение задачи верификации временных автоматов относительно TCTL к задаче верификации моделей Крипке относительно CTL.
10. Выполнение Контрольной работы.

Практическое занятие 4. Метод повышения эффективности алгоритмов верификации.

1. Отношения бисимуляционной эквивалентности (бисимуляции) и симуляционного квазипорядка (симуляции) на моделях Крипке.
2. Равновыполнимость темпоральных формул на бисимуляционно эквивалентных моделях Крипке.
3. Вычисление классов бисимуляционной эквивалентности на конечных моделях Крипке.
4. Упрощение моделей Крипке при помощи отношений симуляции и ибисимуляции.

5. Редукция моделей Крипке по конусу влияния. Абстракции данных при построении моделей Крипке.

6. Верификация моделей программ для вычислений ограниченной длины (bounded model checking, BMC).

7. Сведение задачи BMC к задаче проверки выполнимости булевых формул (SAT).

8. Применение автоматических средств решения задачи SAT для решения задачи BMC

9. Интерполяционная теорема Крейга для исчисления высказываний.

10. Построение интерполянта на основе доказательства невыполнимости КНФ.

11. Интерполяционный алгоритм МакМиллана.

12. Выполнение Контрольной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	в течение семестра	Работа с основной и дополнительной литературой, интернет-источниками. Подготовка к контрольным работам. Подготовка к экзамену.	36 часов	ПР-2 Контрольная работа; Экзамен
		ИТОГО	36 часов	

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью образовательного процесса и рассматривается как организационная форма обучения.

Самостоятельная работа по дисциплине осуществляется в виде внеаудиторных форм познавательной деятельности.

Самостоятельная работа включает в себя повторение теоретического и практического материала дисциплины, заслушиваемого и конспектируемого в ходе аудиторных занятий; изучение основной и дополнительной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины, самоконтроль ответов на основные проблемные вопросы по темам занятий, подготовку к контрольным работам.

Результаты самостоятельной работы представляются в виде ответов на основные положения теоретического и практического материала дисциплины по темам; собственных действий, осуществляемых в ходе подготовки к заданиям контрольной работы.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Общие критерии оценки выполнения самостоятельной работы – правильность ответов на вопросы по темам теоретической части дисциплины, верность получаемых ответов в ходе контрольных работ, достижение правильного результата при осуществлении собственных действий.

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студента (магистранта) учебного материала;
- умения студента (магистранта) использовать теоретические знания при выполнении контрольных работ;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента (магистранта) активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Подготовка к практическому занятию

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной учебно-методической (а также научной и популярной) литературы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у

студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем.

Работа с литературой.

Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при подготовке к практическим занятиям рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к промежуточной аттестации.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Подготовка к контрольным работам.

Подготовка к контрольным работам призвана организовать самостоятельную работу студента по поэтапному формированию компетенций в части приобретения предусмотренных рабочей программой умений и навыков. При подготовке к контрольным работам необходимо обратиться к материалам лекций. Данный вид работы не требует специального представления результатов.

5. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы/ темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1.	Тема 1	ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения; применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> навыками применения современных инструментальных средств и систем программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей	Работа на практическом занятии: ПР-2 Контрольная работа	Экзамен
		ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	<i>Знает</i> принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта <i>Умеет</i> руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> методикой планирования и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на		

			основе искусственных нейронных сетей		
2.	Тема 2	ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения; применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> навыками применения современных инструментальных средств и систем программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей	Работа на практическом занятии: ПР-2 Контрольная работа	Экзамен
		ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	<i>Знает</i> принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта <i>Умеет</i> руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> методикой планирования и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей		
3.	Тема 3	ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения; применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей	Работа на практическом занятии: ПР-2 Контрольная работа	Экзамен

			<i>Владеет</i> навыками применения современных инструментальных средств и систем программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей		
		ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	<i>Знает</i> принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта <i>Умеет</i> руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> методикой планирования и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей		
4.	Тема 4	ПК-9.1 Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	<i>Знает</i> функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей <i>Умеет</i> проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения; применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> навыками применения современных инструментальных средств и систем программирования для разработки и обучения моделей искусственных нейронных сетей	Работа на практическом занятии: ПР-2 Контрольная работа	Экзамен
		ПК-9.2 Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	<i>Знает</i> принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта <i>Умеет</i> руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем		

			искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей <i>Владеет</i> методикой планирования и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей		
--	--	--	---	--	--

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе 9.

6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Карпов, Ю. Г. Modelchecking: верификации параллельных и распределенных программных систем / Ю. Г. Карпов. – Изд-во БХВ-Петербург, 2010. - 552 с.

Дополнительная литература

1. Christel Baier, Joost-Pieter Katoen. Principles of **Model Checking**. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, England, 2008, 980 pp

2. Э.М. Кларк, О. Грамберг, Д. Пелед. «Верификация моделей программ». Москва, 2002, изд-во МЦНМО, 415 с.

3. M. R. A. Huth, M.D. Ryan. Logic in Computer Science: Modelling and Reasoning about Systems. Cambridge University Press, 2002, 387 p.

4. Kenneth L. McMillan, Interpolation and SAT-Based Model Checking. Proceedings of CAV 2003, p. 1-13.

5. Karl S. Brace, Richard L. Rudell and Randal E. Bryant. Efficient Implementation of a BDD Package. In Proceedings of the 27th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC 1990), pages 40–45. IEEE Computer Society Press, 1990.

6. Daniel Kroening, Ofer Strichman. Decision Procedures. Springer, 2008, 304 p.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. NuSMV: a new symbolic model checker. <http://nusmv.fbk.eu/>
2. CUDD: CU Decision Diagram Package. <http://vlsi.colorado.edu/~fabio/CUDD/>
3. SPIN: <http://spinroot.com/spin/whatispin.html>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Ubuntu 18.04.
2. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL
3. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
4. Пакет программ CUDD построения и преобразования ROBDD
5. Программно-инструментальное средство верификации моделей программ NuSMV
6. Программно-инструментальное средство верификации моделей программ SPIN
7. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Портал Министерства образования и науки РФ <http://www.edu.ru>
2. Система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании» <http://www.ict.edu.ru>
3. Министерство образования и науки Российской Федерации <http://www.mon.gov.ru>
4. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
5. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
6. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://diss.rsl.ru/>

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной формой работы при изучении дисциплины являются лекционные и практические занятия.

При организации учебной деятельности на лекционных занятиях широко используются как традиционные, так и современные электронные носители

информации, а также возможности информационных и коммуникационных образовательных технологий.

Цели лекционных занятий:

- создать условия для углубления и систематизации знаний по дисциплине;
- научить студентов использовать полученные знания для решения задач профессионального характера.

Лекционные и практические занятия проводятся в учебной группе.

Со стороны преподавателя студентам оказывается помощь в формировании навыков работы с литературой, анализа литературных источников.

Следует учитывать, что основной объем информации студент должен усвоить в ходе систематической самостоятельной работы с материалами, размещенными как на электронных, так и на традиционных носителях.

Для углубленного изучения материала курса дисциплины рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

Литературные источники доступны обучаемым в научной библиотеке (НБ) ДВФУ, а также в электронных библиотечных системах (ЭБС), с доступом по гиперссылкам — ЭБС издательства "Лань" (<http://e.lanbook.com/>), ЭБС Znanium.com НИЦ "ИНФРА-М" (<http://znanium.com/>), ЭБС IPRbooks (<http://iprbookshop.ru/>) и другие ЭБС, используемые в ДВФУ <https://www.dvfu.ru/library/electronic-resources/>

Формами текущего контроля результатов работы студентов по дисциплине являются контрольные работы, работа на практических занятиях.

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется в форме экзамена в конце 3 семестра.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ДВФУ располагает соответствующей материально-технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет.

Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения.
<p>690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус D, ауд. D 733,733а.</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 13)</p> <p>Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 ССВА – 1 шт.</p> <p>Доска аудиторная,</p> <p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK с лицензионными программами Microsoft Office 2013(13 шт.) и аудиовизуальными средствами проектор Panasonic DLPPjectorPT-D2110XE</p>	<p>1С Предприятия8 (8.2), 7-Zip, ABBYY Lingvo12,Alice 3, Anaconda3,Autodesk,CodeBlocks,CorelDRAW X7,Dia,Directum4.8,DosBox-0.74,Farmanager,Firebird 2.5,FlameRobin,Foxit Reader,Free Pascal,Geany,Ghostscript,Git,Greenfoot,gsview,Inscapе0.91,Java,Java development Kit,Kaspersky,Lazarus,LibreOffice4.4,MatLab R2017b,Maxima 5.37.2,Microsoft Expression,Microsoft Office 2013,Microsoft Silverlight,Microsoft Silverlight 5SDK-русский,MicrosoftSistem Center,Microsoft Visial Studio 2012,MikTeX2.9,MySQL,NetBeans,Notepad++,Oracle VM VirtualBox,PascalABC.NET,PostgreSQL 9.4,PTC Mathcad,Putty,PyQt GPL v5.4.1 for Pythonv 3.4,Python2.7(3.4,3.6),QGIS Brighton,RStudio,SAM CoDeC Pack,SharePoint,Strawberry Perl,Tecnomatix,TeXnicCenter,TortoiseSVN,Unity2017.3.1f1,Veusz,Vim8.1,Visual Paradigm CE,Visual Studio2013,Windows Kits,Windows Phone SDK8.1,Xilinx Design ToolsAcrobat ReaderDC,AdobeBridge CS3,AdobeDeviceCentralCS3,Adobe ExtendScript Toolkit 2,Adobe Photoshpe CS3,DVD-студия Windows,GoogleChrome,Internet Explorer,ITMOproctor,Mozilla Firefox, Visual Studio Installer,Windows Media Center, WinSCP,</p>

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

9. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных работ на практических занятиях по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Для текущего контроля используется проведение контрольных работ в рамках практических занятий.

Для дисциплины используются следующие оценочные средства:

1. Контрольная работа (ПР-2)

Контрольная работа (ПР-2) – предполагает комплексную проверку умений и навыков, полученных в ходе освоения определённых тем дисциплины.

Перечень заданий для контрольных работ

1. Доказательство корректности императивных программ с помощью логики Хоара. Методы построения инвариантов программ.

Типовая задача. Записать в виде предусловия и постусловия требование корректности программы, записанное на естественном языке

а) программа записывает в переменную `prod` произведение значений `x` и `y`

б) программа записывает в переменные `quo`, `rem` частное и остаток от деления положительного значения `x` на положительное значение `y`

в) программа меняет местами значения переменных `x`, `y`

г) программа записывает в переменную `N` наибольший общий делитель значений `x`, `y`

д) программа записывает в переменную `m` максимальный элемент непустого массива `s[0 : n-1]`

е) программа разворачивает непустой массив `s[0 : n-1]` задом наперёд

2. Устройство и возможности практического применения пакеты построения и преобразования ROBDD CUDD

Типовая задача. Построить ROBDD для заданного порядка переменных, реализующую ту же функцию, что и заданная формула.

3. Устройство программно-инструментального средства верификации моделей программ SMV. Язык описания моделей и задания спецификаций в системе SMV. Примеры применения системы SMV на практике. Верификации простых моделей с использованием системы SMV: описание моделей, формальное задание спецификаций, проверка выполнимости спецификаций.

4. Язык описания систем взаимодействующих процессов Promela. Примеры описаний распределенных систем. Примеры применения с программно-инструментального средства верификации моделей программ SPIN на практике. Верификации простых моделей с использованием системы SPIN: описание моделей, формальное задание спецификаций, проверка выполнимости спецификаций.

5. Язык описания сетей конечных временных автоматов в программно-инструментальном средстве верификации моделей программ UPPAAL. Примеры описаний сетей конечных временных автоматов. Язык запросов системы UPPAAL. Верификация простых сетей временных автоматов при помощи средства верификации UPPAAL.

При выполнении контрольных работ необходимо обратиться к материалам лекций.

Процедура оценивания контрольной работы

Сданная на проверку студентом контрольная работа проверяется преподавателем. Проверяется каждое задание контрольной работы. Должно быть приведено полное решение задания.

По окончании проверки всех заданий контрольной работы, преподаватель ставит итоговую оценку от 0 до 5.

Минимально допустимой оценкой, свидетельствующей о сформированности у студента минимальных умений, является оценка «3».

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

К экзамену допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

Экзамен принимается ведущим преподавателем. В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Института по учебной и

воспитательной работе, директор департамента имеет право принять экзамен в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения экзамена (устная, письменная и др.) утверждается на заседании департамента по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего экзамен, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на экзамене, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на экзамене посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Института, руководителя ОПОП или директора департамента), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются к экзамену с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо» или «Отлично».

Вопросы к экзамену

1. Основные методы верификации аппаратуры и программного обеспечения – тестирование, имитационное моделирование, дедуктивный анализ, верификация моделей.

2. Преимущества метода верификации моделей. Алгоритмические и комбинаторные трудности применения метода верификации моделей.

3. Общие принципы дедуктивной верификации программ.

4. Операционная семантика императивных программ.

5. Логика Хоара: правила вывода и свойства. Формальная постановка задачи верификации программ.

6. Автоматизация проверки правильности программ.

7. Моделирование схем. Системы переходов (модели Крипке).

8. Представление систем переходов формулами логики предикатов первого порядка.

9. Синхронные схемы. Моделирование электронных схем.

10. Асинхронные схемы. Моделирование параллельных программ.

11. Временные автоматы. Моделирование информационных систем реального времени.

12. Формальные языки спецификации моделей. Построение модели автомата (протокола, управляющего алгоритма) на языках описания моделей программ (SMV, Promela, сети временных автоматов).

13. Двоичные разрешающие диаграммы (BDD). Алгоритм редукции BDD к каноническому виду (ROBDD).

14. Выполнение операций над ROBDD: унарные и бинарные Булевы операции, операция ITE (мультиплексорная функция от трех переменных), квантификация, проверка выполнимости, подсчет числа единиц.

15. Эффективная машинная реализация ROBDD на основе хэш-таблиц. Общие представления о сложности в классе ROBDD (зависимость сложности от порядка переменных, сложность умножения целых чисел).

16. Реализация алгоритмов работы с ROBDD на примере одного из распространенных пакетов (CUDD, ABCD, и др.).

17. Конъюнктивные нормальные формы (CNF). Задачи выполнимости КНФ. Сведение задачи выполнимости булевой формулы (или схемы) к задаче выполнимости КНФ.

18. Алгоритм DPLL. Эвристические методы повышения производительности на примере существующего SAT-солвера (Chaff, BerkMin, MiniSat, etc.) Схемные SAT-солверы (решение задачи выполнимости схемы без сведения к КНФ).

19. Темпоральная логика деревьев вычислений CTL. Синтаксис и семантика CTL. Примеры спецификаций моделей в терминах формул CTL.

20. Темпоральная логика линейного времени PLTL. Синтаксис и семантика PLTL.

21. Свойства живости и безопасности.

22. Ограничения справедливости.

23. Задача верификации моделей (model-checking).

24. Табличный алгоритм верификации моделей для CTL.

25. Обоснование корректности и сложности табличного алгоритма верификации моделей.

26. Проблема “комбинаторного взрыва”.

27. Представления неподвижной точки.

28. Алгоритм символьной верификации моделей для CTL.

29. Особенности реализации алгоритма: учет ограничений справедливости, расщепленные отношения переходов, рекомбинация произведений.

30. Табличная верификация моделей для PLTL.

31. Обобщенные автоматы Бюхи, трансляция формул LTL в автоматы.

32. Сведение задачи проверки выполнимости формул PLTL к проблеме пустоты для автоматов Бюхи.

33. Алгоритм двойного поиска в глубину с возвратом (DDFS) для проверки пустоты автомата Бюхи.

34. Временные автоматы как формальные модели распределенных систем реального времени. Вычисления временных автоматов.

35. Примеры использования временных автоматов для моделирования встроенных систем. Задача верификации временных автоматов. Зеноновские вычисления.

36. Синтаксис и семантика Timed CTL. Примеры формальных спецификаций поведения встроенных систем при помощи TCTL. Задача верификации моделей программ реального времени.

37. Отношение эквивалентности часов и регионы. Регионные системы переходов. Оценка числа регионов.

38. Сведение задачи верификации временных автоматов относительно TCTL к задаче верификации моделей Крипке относительно CTL.

39. Отношения бисимуляционной эквивалентности (бисимуляции) и симуляционного квазипорядка (симуляции) на моделях Крипке.

40. Равновыполнимость темпоральных формул на бисимуляционно эквивалентных моделях Крипке.

41. Вычисление классов бисимуляционной эквивалентности на конечных моделях Крипке.

42. Упрощение моделей Крипке при помощи отношений симуляции и ибисимуляции.

43. Редукция моделей Крипке по конусу влияния.

44. Абстракции данных при построении моделей Крипке

45. Верификация моделей программ для вычислений ограниченной длины (boundedmodelchecking, BMC).

46. Сведение задачи BMC к задаче проверки выполнимости булевых формул (SAT).

47. Применение автоматических средств решения задачи SAT для решения задачи BMC.

48. Интерполяционная теорема Крейга для исчисления высказываний. Построение интерполянта на основе доказательства невыполнимости КНФ.

49. Интерполяционный алгоритм МакМиллана.

50. Адаптивный метод верификации моделей программ CEGAR.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене

Оценка	Требования к сформированным компетенциям
«отлично»	выставляется студенту, если даны полные и правильные ответы на все вопросы экзаменационного билета в

	соответствии с требованиями, предъявляемыми программой; содержание ответа изложено логично и последовательно; существенные фактические ошибки отсутствуют; ответ соответствует нормам русского литературного языка. Студент должен дать исчерпывающие и правильные ответы на уточняющие и дополнительные вопросы по теме вопросов билета.
«хорошо»	выставляется студенту в случае, когда содержание ответа, в основном, соответствует требованиям, предъявляемым к оценке «отлично», т. е. даны полные правильные ответы на вопросы экзаменационного билета с соблюдением логики изложения материала, но при ответе допущены небольшие ошибки и погрешности, не имеющие принципиального характера
«удовлетворительно»	выставляется студенту, не показавшему знания в полном объеме, допустившему ошибки и неточности при ответе на вопросы экзаменационного билета, продемонстрировавшему неумение логически выстроить материал ответа и сформулировать свою позицию. При этом хотя бы по одному из вопросов ошибки не должны иметь принципиального характера
«неудовлетворительно»	выставляется студенту, если он не дал ответа хотя бы на один вопрос экзаменационного билета; дал неверные, содержащие фактические ошибки, ответы на все вопросы; не смог ответить более, чем на половину дополнительных и уточняющих вопросов. Неудовлетворительная оценка выставляется выпускнику, отказавшемуся отвечать на вопросы билета

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
Знания (виды оценочных средств: опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач