

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев
29.05.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.13 Имитационное моделирование

- 1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:**
01.04.03 Механика и математическое моделирование
- 2. Профиль подготовки :** Прикладная механика и компьютерное моделирование
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** Очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Механики и компьютерного моделирования
- 6. Составители программы:**
Иванищева Ольга Ивановна к. ф. м. н., доцент, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [E-mail-ivan@amm.vsu.ru](mailto:mail-ivan@amm.vsu.ru)
- 7. Рекомендована:** НМС факультета ПММ протокол №7 от 26.05.2023.
- 8. Учебный год:** 2023 - 2024 **Семестр(ы):** 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель изучения дисциплины: Целью дисциплины является знакомство с понятием имитационного моделирования, его математическим аппаратом и областями применения.

Задачи учебной дисциплины: Научить студентов обоснованию, формулированию и конструированию имитационной модели, а также методам решения и анализа с использованием программных средств имитационного моделирования.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина входит в обязательную часть цикла профессиональных дисциплин (Б1). Для освоения дисциплины необходимы физика, механика сплошных сред, теория вероятностей и математическая статистика, инструменты компьютерной математики, теория упругости, математический анализ, дифференциальные уравнения, численные методы, навыки программирования

Освоение дисциплины поможет при выполнении научных расчетов для диссертационной работы.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способность разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научноисследовательской и опытноконструкторской деятельности	ОПК-2.2	Анализирует задачу, разрабатывает и применяет новые необходимые методы математического и алгоритмического моделирования для ее решения.	Знать: Этапы создания программных моделей сложных систем и средства поддержки этих этапов Уметь: Создавать программные модели поведения (имитационные модели) систем, описываемых моделями механики сплошных сред,
		ОПК-2.3	Проводит сравнительный анализ полученного решения с аналогами	Уметь: планировать и проводить имитационные эксперименты и анализировать их результаты. Проводить сравнительный анализ полученного решения с аналогами Владеть: Программными средствами имитационного моделирования систем со случайными параметрами .

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/32

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			2	4
Контактная работа		32	32	
В том числе:	лекции	16	16	
	практические	16	16	
	лабораторные			
Самостоятельная работа		40	40	
Промежуточная аттестация (для экзамена)				
Итого:		72	72	

13.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация
			Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1	Понятие имитационного моделирования. Системы имитационного моделирования и их классификация.	Классификация видов моделирования. Понятие сложной системы.	ИМОД 1 course/view.php?id=6767
2	. Этапы имитационного моделирования	Структурный анализ процессов. Формализованное описание модели. Построение модели. Проведение эксперимента.	ИМОД 1

3	Базовый датчик. Модели базовых датчиков	. Мультипликативный конгруэнтный метод. Метод середины квадрата..	course/view.php?id=6767
4	Методы генерации случайных величин и процессов	. Метод обратных функций. Метод исключения. Метод суперпозиции	ИМОД_1
5	Моделирование цепи Маркова.	Дискретная цепь Маркова с дискретным временем. Дискретная цепь Маркова с непрерывным временем.	
6	Моделирование винеровского случайного процесса.	Алгоритмы моделирования и анализ полученных реализаций.	
7	Моделирование потоков событий	Моделирование пуассоновского потока событий	

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практически е	Лабораторны е	Самостоятельна я работа	
1.	Понятие имитационного моделирования. Системы имитационного моделирования и их классификация.	2			3	5
2.	Этапы имитационного моделирования	2			5	7
3.	Базовый датчик. Модели базовых датчиков	2		2	6	10
4.	Методы генерации случайных величин и процессов	4		8	18	30
5.	Моделирование цепи Маркова.	2		2	4	8
6.	Моделирование винеровского случайного процесса.	2		2	2	6
7.	Моделирование потоков событий	2		2	2	6
	Итого:	16		16	40	32

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др)

Освоение дисциплины «Имитационное моделирование» включает лекционные занятия, практические занятия и самостоятельную работу обучающихся.

На первом занятии студент получает информацию для доступа к комплексу учебно-методических материалов.

Лекционные занятия посвящены рассмотрению теоретических основ механики композитов, ключевых принципов, базовых понятий, стандартов и методологий.

Практические занятия предназначены для формирования умений и навыков, закрепленных компетенций по ОПОП. Они организовываются в виде работы над практико-ориентированными заданиями, домашние задания, собеседования.

Самостоятельная работа студентов включает в себя проработку учебного материала лекций, разбор заданий, подготовку реферата.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется подробно конспектировать лекционный материал, просматривать основную и дополнительную литературу по соответствующей теме, чтобы систематизировать изучаемый материал.

Промежуточная аттестация. В течение семестра обучающимся предлагается выполнить практикоориентированные, домашние задания. К промежуточной аттестации студенты подготавливают ответы на вопросы (20.2).

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения следует выполнять все указания преподавателя по работе на LMS-

платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет,

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Павловский, Юрий Николаевич. Имитационное моделирование : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по специальностям направления подгот. "Прикладная математика и информатика" / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский .— М. : Академия, 2008 .— 234, [1] с. : ил. — (Университетский учебник. Сер. "Прикладная математика и информатика" / отв. ред. Ю.И. Димитриенко) .— Библиогр.: с.231-233.1. Режим доступа https://lib.vsu.ru/
2	Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 317 с. — ISBN 5-94074-219-X. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1213

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Кораблев, Юрий Александрович. Имитационное моделирование : [учебник для направлений бакалавриата "Прикладная математика и информатика", "Бизнес информатика", "Экономика"] / Ю.А. Кораблев .— Москва : КноРус, 2020 .— 144, [1] с. : ил., Режим доступа https://lib.vsu.ru/
4	Лоу А.М. Имитационное моделирование. [Электронный ресурс] / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон СПб.: Питер, 2012// ЭБС КнигаФонд. —Режим доступа: https://heterarchica.files.wordpress.com/2017/01/1kel_ton_v_lou_a_imitatsionnoe_modelirovanie.pdf
5	Ю.А.Карпов Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Электронный ресурс] Ю.А.Карпов Спб.. издат.: БХВ-Петербург, 2012// ЭБС КнигаФонд. —Режим доступа: https://studizba.com/files/show/djvu/2825-1-yu-karpov--immitacionnoe-modelirovanie.html

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
5	Электронно-библиотечная система «Консультант студента». - Режим доступа: https://www.studentlibrary.ru/
6	Электронный каталог Научной библиотеки Воронежского государственного университета. – Режим доступа: http://www.lib.vsu.ru .
	ИМОД 1 МММК / О.И.Иванищева. □ Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: edu.vsu.ru/course/view.php?id=6767

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к практическим занятиям, и подготовку к промежуточной аттестации.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению заданий. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1.	Павловский, Юрий Николаевич. Имитационное моделирование : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по специальностям направления подгот. "Прикладная математика и информатика" / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский .— М. : Академия, 2008 .— 234, [1] с. : ил. — (Университетский учебник. Сер. "Прикладная математика и информатика" / отв. ред. Ю.И. Димитриенко) .— Библиогр.: с.231-233.1. Режим доступа https://lib.vsu.ru/
2	Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 317 с. — ISBN 5-94074-219-X. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/1213
3	Кораблев, Юрий Александрович. Имитационное моделирование : [учебник для направлений бакалавриата "Прикладная математика и информатика", "Бизнес информатика", "Экономика"] / Ю.А. Кораблев .— Москва : КноРус, 2020 .— 144, [1] с. : ил., Режим доступа https://lib.vsu.ru/
4	Лоу А.М. Имитационное моделирование. [Электронный ресурс] / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон СПб.: Питер, 2012// ЭБС КнигаФонд. —Режим доступа: https://heterarchica.files.wordpress.com/2017/01/1kel_ton_v_lou_a_imitatsionnoe_modelirovanie.pdf
5	Ю.А.Карпов Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5[Электронный ресурс] Ю.А.Карпов Спб.. издат.: БХВ-Петербург, 2012// ЭБС КнигаФонд. —Режим доступа: https://studizba.com/files/show/djvu/2825-1-yu-karpov--imitacionnoe-modelirovanie.html
6	МММК / О.И.Иванищева. □ Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: edu.vsu.ru/course/view.php?id=6767

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам.

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале. Применяются разные типы лекций (вводная, обзорная, информационная, проблемная).

Информационные технологии для реализации учебной дисциплины:

- технологии синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателя посредством служб (сервисов) по пересылке и получению электронных сообщений, в том числе, по сети Интернет а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.;

- сервис электронной почты для оперативной связи преподавателя и студентов.

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
Учебная аудитория для проведения лекций: специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения). Учебная аудитория для проведения практических занятий: специализированная мебель, персональные компьютеры для индивидуальной работы с возможностью подключения к сети «Интернет», мультимедийное оборудование (проектор, экран). ОС Mac, ПО Xcode, Android studio	394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, ауд.9

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Понятие имитационного моделирования. Системы имитационного моделирования и их классификация.	ОПК-2	ОПК-2.2	Собеседование по основным понятиям имитационного моделирования
2.	Этапы имитационного моделирования	ОПК-2	ОПК-2.2	Собеседование по результатам изучения этапов имитационного моделирования
3	Базовый датчик. Модели базовых датчиков	ОПК-2	ОПК-2.3	Собеседование по результатам лабораторной работы
4	Методы генерации случайных величин и процессов	ОПК-2	ОПК-2.3	Собеседование по результатам лабораторной работы
5	Моделирование цепи Маркова	ОПК-2	ОПК-2.2 ОПК-2.3	Собеседование по методам моделирования случайных величин
6	Моделирование винеровского случайного процесса.	ОПК-2.	ОПК-2.2 ОПК-2.3	Собеседование по результатам лабораторной работы

7.	Моделирование потоков событий	ОПК-2.	ОПК-2.2 ОПК-2.3	Практикоориентированные задания/домашние задания
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: Практикоориентированные задания/домашние задания

Практикоориентированные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень заданий из задачников и пособий из п.16

Описание технологии проведения: Решение практикоориентированных заданий происходит в течение 1 часа 30 минут в учебной аудитории, для выполнения домашних заданий предусмотрены часы из СРС. Проверка правильности выполнения проводится путем проверки выполненных упражнений.

Оценка	Критерии оценок
Зачтено	Выполнены лабораторные работы и продемонстрировано умение строить и реализовывать план компьютерного моделирования на примере стохастических имитационных моделей
Незачтено	Не выполнены требования пункта «зачтено»

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Вопросы к зачету по курсу

1. Понятие имитационного моделирования
1. Классификация видов моделирования
2. Понятие сложной системы
3. Понятие математического моделирования
4. Виды имитационного моделирования
5. Области применения имитационного моделирования
6. Популярные системы имитационного моделирования
7. Системы имитационного моделирования и их квалификация
8. Агентное моделирование
9. Дискретно-событийное моделирование
10. Системная динамика
11. Принципы моделирования случайных элементов
12. Моделирование базовых случайных величин
13. Этапы имитационного моделирования
14. Преимущества и недостатки имитационного моделирования

15. Модели базовых датчиков
16. Требования к базовым датчикам
17. Генерация полной группы попарно несовместных событий. (Генерация дискретных случайных величин).
18. Специальные методы генерации некоторых дискретных случайных величин
19. Метод обратных функций для моделирования непрерывных случайных величин.
20. Метод исключения.
21. Метод суперпозиции
22. Датчик нормальной случайной величины
23. Моделирование дискретной цепи Маркова с дискретным временем
24. Моделирование дискретной цепи Маркова с непрерывным временем
25. Моделирование винеровского случайного процесса.
26. Моделирование арифметического броуновского движения.
27. Моделирование потоков событий.

Описание технологии проведения. Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Оценка	Критерии оценок
Зачтено	1.Анализирует задачу, разрабатывает и применяет необходимые методы имитационного моделирования для ее решения. 2.Проводит анализ результатов моделирования и формулирует выводы.
Незачтено	Не выполнен хотя бы один пункт «зачтено»

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. При каком условии метод обратных функций при моделировании случайных величин позволяет получить явный вид моделирующих формул? Если функция распределения случайной величины

- А) обратима**
Б) необратима

ЗАДАНИЕ 2. Метод исключения для моделирования случайных величин имеет ограничения?

- А) имеет**
Б) не имеет

ЗАДАНИЕ 3. Можно ли применять метод обратных функций для генерации непрерывных случайных величин?

- А) нет
Б) можно

ЗАДАНИЕ 4. Имя функции для генерации **стандартной** случайной величины в системе компьютерной математики Mathcad

- А) rnd(1)**
Б) rlnorm(k,μ,σ)
С) rexp(k,r)

ЗАДАНИЕ 5. Чему равно математическое ожидание стандартной случайной величины?

- А) 1

Б) 0.5

С) 1.12

ЗАДАНИЕ 6. Плотность распределения стандартной случайной величины $p(x)$ равна

А) 1

Б) x

С) $x-1$

ЗАДАНИЕ 7. Для имитации случайного события с помощью метода обратных функций нужно использовать дискретную случайную величину с рядом распределения, содержащим количество возможных значений, равное

А) 4

Б) 2

С) 3

ЗАДАНИЕ 8. Случайная величина непрерывно распределена на одном из множеств. Выберите вариант, при котором для ее генерации можно использовать метод исключения

А) $(7; 15)$

Б) $(2; \infty)$,

С) $(-\infty, \infty)$

ЗАДАНИЕ 9. Можно ли получить с помощью метода обратных функций явные формулы при имитационном моделировании случайной величины, если ее функция распределения необратима?

А) можно

Б) нет

ЗАДАНИЕ 10. Выбрать **допустимый** вариант задания данных для имитационного моделирования дискретной случайной величины

А) X 1 2 3

Б) X 1 2 3

P 0.3 0.2 0.5

P 0.7 0.2 0.5

Здесь X – возможные значения случайной величины, p- соответствующие вероятности

ЗАДАНИЕ 11. Имитационное моделирование полной группы несовместных событий A_i с вероятностями p_i ($i=1,2,3$) можно свести к разыгрыванию дискретной случайной величины X с рядом распределения

X 1 2 3 ...n

P p_1 p_2 p_3 p_n

Возможно ли равенство $p_1 + p_2 + p_3 = 1.2$?

А) да

Б) нет

ЗАДАНИЕ 12. При имитационном моделировании стационарного случайного процесса достаточно рассмотреть одну реализацию большой протяженности, если

А) процесс эргодический

Б) процесс не обладает эргодическим свойством

ЗАДАНИЕ 13. При имитационном моделировании на основе алгоритмов псевдослучайных чисел количество реализаций

А) ограничено отрезком аperiodичности

Б) не ограничено

ЗАДАНИЕ 14. Оценка математического ожидания при имитационном моделировании случайной величины является

А) точной

Б) приближенной

ЗАДАНИЕ 15. Вероятная ошибка при оценке математического ожидания случайной величины ζ с дисперсией $D\zeta$ при N испытаниях в методе Монте –Карло имеет вид

$$r_N = 0,6745 \sqrt{\frac{D\zeta}{N}}$$

А) это оценка порядка действительной ошибки

Б) точная оценка

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

ЗАДАНИЕ 1. При каком виде функции распределения метод обратных функций при имитации случайных величин позволяет получить явный вид моделирующих формул?

Ответ: Функция распределения должна быть обратима

ЗАДАНИЕ 2. При каком ограничении на область возможных значений случайной величины можно применять метод исключения для имитации этой случайной величины?

Ответ: Область должна быть ограниченной

ЗАДАНИЕ 3. Можно ли имитировать случайное событие с помощью метода обратных функций.

Ответ: Можно, моделируя индикаторную дискретную случайную величину с двумя возможными значениями

ЗАДАНИЕ 4. Можно ли генерировать дискретную случайную величину с бесконечным рядом распределения?

Ответ: Можно

ЗАДАНИЕ 5. Чему равно математическое ожидание стандартной случайной величины?

Ответ: 0.5

ЗАДАНИЕ 6. Чему равна плотность распределения стандартной случайной величины?

Ответ: 1

ЗАДАНИЕ 7. Можно ли применять метод обратных функций для генерации непрерывных случайных величин?

Ответ: Можно

ЗАДАНИЕ 8. Перечислить основные виды имитационного моделирования

Ответ: Агрегатное моделирование, дискретно-событийное, системная динамика

ЗАДАНИЕ 9. Назвать хотя бы одну популярную систему имитационного моделирования или инструмент генерирования случайных величин

Ответ: GPSS, статистическая библиотека одной из систем компьютерной математики

ЗАДАНИЕ 10. Определение системы имитационного моделирования

Ответ: Под системой имитационного моделирования (СИМ) понимают комплекс программных средств для создания имитационной модели и ее симуляции

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины.