

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

Хорьков К.С.



» 08 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

(наименование дисциплины)

направление подготовки / специальность

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

**Математическое и компьютерное моделирование,
программирование и системный анализ**

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир

2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Теория случайных процессов» – научное представление о случайных процессах, а также о методах их исследования, знакомство с основными моделями и методами моделирования стохастических систем.

Задачи:

- усвоить методы случайных процессов;
- разобраться в особенностях стохастического анализа;
- научиться содержательно интерпретировать формальные результаты.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория случайных процессов» относится к обязательной части учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	<p>ОПК-1.1. Знает принципы использования фундаментальных знаний, полученных в области математических и (или) естественных наук.</p> <p>ОПК-1.2. Умеет использовать базовые знания из области математических и (или) естественных наук в профессиональной деятельности.</p> <p>ОПК-1.3. Владеет навыками выбора методов решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний.</p>	<p>Знает теорию случайных процессов.</p> <p>Умеет использовать математические инструментальные средства для обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования.</p> <p>Владеет методами теории случайных процессов и, кроме того, научиться содержательно интерпретировать формальные результаты.</p>	Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.
ОПК-2. Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	<p>ОПК-2.1. Знает математические основы, основные положения и концепции в области программирования.</p> <p>ОПК-2.2. Умеет осуществлять обоснованный выбор математических и компьютерных методов, а также необходимого программного обеспечения при решении задач профессиональной деятельности.</p> <p>ОПК-2.3. Владеет навыками применения математических и компьютерных методов и</p>	<p>Знает теорию случайных процессов.</p> <p>Умеет применять математические методы и инструментальные средства для исследования объектов профессиональной деятельности; строить математические модели объектов профессиональной деятельности; использовать математические инструментальные средства для обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования.</p>	Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.

	программного обеспечения при решении конкретных задач.	Владеет методами статистического анализа.	
ОПК-3. Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1. Знает принципы математического моделирования, типовые (универсальные) математические модели, формулы, теоремы и методы, используемые в широком наборе областей применения. ОПК-3.2. Умеет осуществлять обоснованный выбор адекватных поставленной задаче базовых математических моделей, модифицировать базовые и (или) разрабатывать оригинальные математические модели в соответствии с особенностями поставленной задачи моделирования. ОПК-3.3. Владеет навыками выполнения математического моделирования от анализа постановки задачи до анализа результатов.	Знать теорию случайных процессов. Уметь применять математические методы и инструментальные средства для исследования объектов профессиональной деятельности; строить математические модели объектов профессиональной деятельности; использовать математические инструментальные средства для обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования. Владеть методами статистического анализа.	Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Основные понятия теории меры и теории вероятностей.	6	1-2	4	4			6	
2	Обзор основных методов теории случайных процессов и важнейших классов случайных процессов.	6	3	2		2		10	
3	Определение стационарных процессов. Примеры.	6	4	2	2			8	
4	Сохраняющие меру преобразования и их свойства.	6	5-6	4	2	2		10	Рейтинг-контроль 1
5	Эргодические теоремы для стационарных в узком смысле последовательностей и процессов.	6	7	2	2			6	
6	Мартингал, субмартингал и супермартингал. Примеры.	6	8	2	2			6	
7	Разложение Дуба для субмартингалов.	6	9	2	2			6	

8	Построение стохастического интеграла Ито.	6	10	2		2		10	
9	Понятие стохастических дифференциальных уравнений.	6	11	2		2		10	Рейтинг-контроль 2
10	Определения марковских процессов.	6	12	2	2			6	
11	Модели испытаний, связанных в цепь Маркова.	6	13-14	4		4		10	
12	Однородные цепи Маркова.	6	15-16	4		4		10	
13	Классификация состояний марковской цепи.	6	17-18	4	2	2		10	Рейтинг-контроль 3
Всего за 6 семестр:				36	18	18		108	Экзамен (36)
Итого по дисциплине				36	18	18		108	Экзамен (36)

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Тема 1. Основные понятия теории меры и теории вероятностей. Определение случайного процесса, конечномерные распределения, построение процесса с заданным распределением, теорема Колмогорова.

Тема 2. Обзор основных методов теории случайных процессов и важнейших классов случайных процессов. Примеры случайных процессов: винеровский процесс, пуассоновский процесс и т.д.

Тема 3. Определение стационарных процессов. Примеры. Определение стационарных процессов в узком смысле и стационарных в широком смысле случайных процессов и случайных последовательностей.

Тема 4. Сохраняющие меру преобразования и их свойства. Теорема Пуанкаре о "возвратности". Эргодичность и перемешивание. Эргодическая теорема Биркгофа-Хинчина.

Тема 5. Эргодические теоремы для стационарных в узком смысле последовательностей и процессов. Связь сохраняющего меру преобразования и стационарной последовательности. Понятие эргодической стационарной последовательности. Формулировки эргодических теорем для стационарных в узком смысле последовательностей и процессов.

Тема 6. Мартингал, субмартингал и супермартингал. Примеры. Определения случайных процессов и последовательностей, образующих мартингал, субмартингал и супермартингал. Напоминание свойств условных математических ожиданий.

Тема 7. Разложение Дуба для субмартингалов. Свойства мартингалов и полумартингалов с дискретным временем. Пример из теории игр.

Тема 8. Построение стохастического интеграла Ито. Мартингалы с непрерывным временем на примере винеровского процесса. Построение стохастического интеграла по винеровскому процессу от случайных функций.

Тема 9. Понятие стохастических дифференциальных уравнений. Диффузионные процессы, задаваемые стохастическими уравнениями. Их связь с уравнениями в частных производных.

Тема 10. Определения марковских процессов. Определение марковских последовательностей и марковских цепей. Разные формы марковского свойства. Примеры.

Тема 11. Модель испытаний, связанных в цепь Маркова. Примеры из теории массового обслуживания и теории ветвящихся процессов ("очередь", "бесперебойное обеспечение", задача "рождения и гибели" и т.д.)

Тема 12. Однородные цепи Маркова. Уравнение Колмогорова-Чэпмена. Эргодическая теорема.

Тема 13. Классификация состояний марковской цепи. Классификация состояний марковской цепи по свойствам переходных вероятностей и по асимптотическим свойствам переходных вероятностей. Существование предельных и стационарных распределений. Примеры, иллюстрирующие введенные понятия и полученные результаты.

Содержание практических занятий по дисциплине

Тема 1. Основные понятия теории меры и теории вероятностей. Определение случайного процесса, конечномерные распределения, построение процесса с заданным распределением, теорема Колмогорова. Решение задач.

Тема 3. Определение стационарных процессов. Определение стационарных в узком смысле и стационарных в широком смысле случайных процессов и случайных последовательностей. Примеры. Решение задач.

Тема 5. Эргодические теоремы для стационарных в узком смысле последовательностей и процессов. Связь сохраняющего меру преобразования и стационарной последовательности. Понятие эргодической стационарной последовательности. Формулировки эргодических теорем для стационарных в узком смысле последовательностей и процессов. Решение задач.

Тема 6. Мартингал, субмартингал и супермартингал. Определения случайных процессов и последовательностей, образующих мартингал, субмартингал и супермартингал. Примеры. Напоминание свойств условных математических ожиданий. Решение задач.

Тема 7. Разложение Дуба для субмартингалов. Свойства мартингалов и полумартингалов с дискретным временем. Пример из теории игр. Разложение Дуба для субмартингалов. Решение задач.

Тема 10. Определения марковских процессов. Определения марковских процессов, марковских последовательностей и марковских цепей. Разные формы марковского свойства. Примеры. Решение задач.

Содержание лабораторных работ по дисциплине

Тема 2. Обзор основных методов теории случайных процессов и важнейших классов случайных процессов. Примеры случайных процессов: винеровский процесс, пуассоновский процесс и т.д.. Обзор основных методов теории случайных процессов и важнейших классов случайных процессов. Численное решение задач. Моделирование процесса с заданными конечномерными распределениями.

Тема 4. Сохраняющие меру преобразования и их свойства. Теорема Пуанкаре о "возвратности". Эргодичность и перемешивание. Эргодическая теорема Биркгофа-Хинчина. Численное решение задач. Построение образа преобразования, являющегося перемешиванием.

Тема 8. Построение стохастического интеграла Ито. Мартингалы с непрерывным временем на примере винеровского процесса. Построение стохастического интеграла по винеровскому процессу от случайных функций. Численное решение задач. Компьютерная программа в системе MATLAB 7.0 для численного моделирования решений стационарных систем линейных стохастических дифференциальных уравнений. Математическая модель объекта моделирования. Задачи, решаемые программой. Работа с программой.

Тема 9. Понятие стохастических дифференциальных уравнений. Диффузионные процессы, задаваемые стохастическими уравнениями. Их связь с уравнениями в частных производных. Численное решение задач. Численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений. Явные одношаговые сильные численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений Ито. Сильная сходимость и тестирование сильных численных методов. Явный метод Эйлера. Моделирование траекторий решений стохастических дифференциальных уравнений Ито. Численное интегрирование модели Блэка-Шоулза

Тема 11. Модель испытаний, связанных в цепь Маркова. Примеры из теории массового обслуживания и теории ветвящихся процессов ("очередь", "бесперебойное обеспечение", задача "рождения и гибели" и т.д.). Численное решение задач.

Тема 12. Однородные цепи Маркова. Уравнение Колмогорова-Чэпмена. Эргодическая теорема. Численное решение задач.

Тема 13. Классификация состояний марковской цепи. Классификация состояний марковской цепи по свойствам переходных вероятностей и по асимптотическим свойствам переходных вероятностей. Существование предельных и стационарных распределений. Примеры, иллюстрирующие введенные понятия и полученные результаты. Численное решение задач.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль №1

Вариант 1

1. Пусть случайный процесс задан на вероятностном пространстве (Ω, F, P) , где $\Omega = \{-1, 1\}$, F – σ -алгебра всех подмножеств Ω , P – мера, приписывающая множествам $\{-1\}$, $\{1\}$ одинаковые вероятности $1/2$. Пусть $t \in [0, 1]$ и случайный процесс $\xi_t(\omega) = t\omega$. Найти все реализации (траектории) процесса.

2. Пусть $\eta \sim N(0, 1)$, $t \in R$. Найти все конечномерные распределения процесса $\xi_t = \eta + 2t$.

3. Описать σ -алгебру подмножеств отрезка $[0, 1]$, порожденную множествами $\left[0, \frac{2}{3}\right]$, $\left[\frac{1}{3}, 1\right]$. И функции, измеримые относительно нее.

Рейтинг-контроль №2

Вариант 1

1. Пусть w_t^0 , $0 \leq t \leq 1$ – условный винеровский процесс, т.е. $w_t^0 = w_t - tw_1$, найти его корреляционную функцию. Через w_t обозначен винеровский процесс.

2. Проверить, что если процесс ξ_t , $t \in T \subseteq R$ – процесс с независимыми приращениями, $M|\xi_t|^2 < \infty$, то он также является и процессом с некоррелированными приращениями.

3. Доказать, что D_{w_t} , $t \geq 0$ является функцией, не убывающей по t . w_t – винеровский процесс.

Рейтинг-контроль №3

Вариант 1

1. Нарисовать граф и указать существенные и несущественные состояния цепи Маркова с матрицей вероятностей перехода за один шаг

$$\begin{pmatrix} 1/4 & 1/4 & 0 & 0 & 1/2 \\ 1/3 & 0 & 1/3 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

2. Рассмотреть вопрос о стационарных, предельных, эргодических распределениях для марковской цепи с матрицей переходных вероятностей

$$\begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,25 & 0,5 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Проверить, что винеровский процесс, выходящий из нуля, является мартингалом.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)

Вопросы к экзамену

1. Два определения случайных процессов, эквивалентность определений.
2. Примеры (случайное блуждание, процесс восстановления, модель Крамера-Лундберга, винеровский и пуассоновский процессы).
3. Винеровский процесс (определение, конечномерные распределения, корреляционная функция).
4. Основные классы случайных процессов.
5. Стационарные в узком смысле случайные последовательности (определение, примеры).
6. Сохраняющее меру отображение. Теорема о возвратности.
7. Сохраняющее меру отображение. Эргодичность и перемешивание.
8. Эргодические теоремы для сохраняющих меру отображений и случайных процессов, стационарных в узком смысле.
9. Условное математическое ожидание (определение, корректность определения, примеры).
10. Свойства условного математического ожидания.
11. Теоремы о предельном переходе под знаком условного математического ожидания.
12. Мартингалы и полумартингалы с дискретным временем (определения, примеры).
13. Разложение Дуба для субмартингалов.
14. ___ Стохастический интеграл по винеровскому процессу от простой функции, его свойства.
15. Стохастический интеграл по винеровскому процессу от функций, интегрируемых с квадратом и непрерывных по t .
16. Понятие стохастического дифференциального уравнения.
17. Определение марковского процесса. Разные формы марковского свойства.
18. Марковская цепь с конечным числом состояний. Модель испытаний, связанных в цепь Маркова и пример из теории игр.
19. Задачи из теории массового обслуживания и теории ветвящихся процессов.
20. Однородная цепь Маркова. Уравнение Колмогорова-Чепмена.
21. Пример эргодической марковской цепи. Формулировка теоремы об эргодичности и существовании стационарного распределения.
22. Классификация состояний однородной цепи Маркова со счетным множеством состояний по арифметическим свойствам переходных вероятностей.
23. Классификация состояний однородной цепи Маркова со счетным множеством состояний, по асимптотическим свойствам переходных вероятностей.
24. Пример простого случайного блуждания, иллюстрирующий введенные понятия классификации состояний и предельного поведения переходных вероятностей.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

1. Корреляционной функцией винеровского процесса является
$$K_1(t, s) = \min[t, s], \quad t, s \geq 0;$$
$$K_2(t, s) = \min[t, s] - ts, \quad t, s \in [0, 1];$$
$$K_3(t, s) = e^{-|t-s|}, \quad t, s \in R?$$
2. Пусть случайный процесс задан на вероятностном пространстве (Ω, F, P) , где $\Omega = \{-1, 1\}$, F – σ -алгебра всех подмножеств Ω , P – мера, приписывающая множествам $\{-1\}$, $\{1\}$ одинаковые вероятности $1/2$. Пусть $t \in [0, 1]$ и случайный процесс $\xi_t(\omega) = t\omega$. Найти все реализации (траектории) процесса.
3. Винеровский процесс является ли гауссовским процессом, т.е. процессом, конечномерные распределения которого нормальны?
4. Пусть w_t^0 , $0 \leq t \leq 1$ – условный винеровский процесс, т.е. $w_t^0 = w_t - tw_1$, найти его корреляционную функцию. Через w_t обозначен винеровский процесс.
5. Дать определение винеровского процесса.

6. Пусть $\eta \sim N(0,1)$, $t \in \mathbb{R}$. Найти все конечномерные распределения процесса $\xi_t = \eta + 2t$.
7. Пусть случайный процесс задан на вероятностном пространстве (Ω, F, P) , где $\Omega = \{1,2,3\}$, F – σ -алгебра всех подмножеств Ω , P – мера, приписывающая множествам $\{2\}$, $\{1\}$, $\{3\}$ одинаковые вероятности $1/3$. Пусть $t \in [0,1]$ и случайный процесс $\xi_t(\omega) = t\omega$. Найти все трехмерные распределения процесса.
8. Пусть $\eta \sim U[0,1]$, $t \in \mathbb{R}$. Найти все одномерные распределения процесса $\xi_t = \eta + 2t$ и $D\xi_1$.
9. Доказать: $\xi^{-1}(D_1 \cup D_2) = \xi^{-1}(D_1) \cup \xi^{-1}(D_2)$; (Взятие полного прообраза сохраняет теоретико-множественные операции.)
10. Как называются процессы $\xi_t(\omega)$ и $\xi'_t(\omega)$, если они определены на одном вероятностном пространстве (Ω, F, P) и при любом $t \in T$ верно, что $P\{\xi_t(\omega) \neq \xi'_t(\omega)\} = 0$.
11. Описать σ -алгебру подмножеств отрезка $[0,1]$, порожденную множествами $[0, \frac{2}{3}]$, $[\frac{1}{3}, 1]$. И функции, измеримые относительно нее.
12. Что называют конечномерными распределениями случайного процесса.
13. Сформулировать условия симметрии и согласованности для конечномерных распределений случайного процесса.
14. Проверить, что если процесс ξ_t , $t \in T \subset \mathbb{R}$ – процесс с независимыми приращениями, $M|\xi_t|^2 < \infty$, то он также является и процессом с некоррелированными приращениями.
15. Как называется процесс ξ_t , $t \in T \subset \mathbb{R}$, если его конечномерные распределения не меняются при сдвиге, т.е., если $t_1, \dots, t_n \in T$, $(t_i \neq t_j)$, и для любого действительного h такого, что $t_1 + h, \dots, t_n + h \in T$, верно $F_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = F_{t_1+h, \dots, t_n+h}(x_1, \dots, x_n)$.
16. Пусть F_1 и F_2 – две σ -алгебры подмножеств пространства Ω . Проверить является ли σ -алгеброй класс множеств $F_1 \cap F_2$?
17. Будет ли D_w , $t \geq 0$ функцией, не убывающей по t , w_t – винеровский процесс.
18. Нарисовать граф и указать существенные и несущественные состояния цепи Маркова с матрицей вероятностей перехода за один шаг

$$\begin{pmatrix} 1/4 & 1/4 & 0 & 0 & 1/2 \\ 1/3 & 0 & 1/3 & 1/3 & 0 \\ 1/2 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

19. Могут ли все состояния цепи Маркова с конечным числом состояний быть несущественными?
20. Винеровский процесс, выходящий из нуля, является мартингалом, субмартингалом или супермартингалом?
21. Два соперника соревнуются в безлимитном поединке. Первый выигрывает партию с вероятностью p , второй с вероятностью q , игра заканчивается вничью с вероятностью $1 - p - q$. Матч заканчивается, как только один из соперников обыграет другого на N партий. Найдите вероятность выигрыша первого игрока, если $N = 1$, $N = 2$. (<http://www.iam.khv.ru/articles/Ustinov/emath24.pdf>)
22. Три карты «тройка», «семерка», «туз» перемешивают двумя способами:
- верхняя карта с вероятностью p перемещается вниз колоды;
 - с вероятностью q меняются местами верхняя и средняя карты.
- Пусть X_n – положение «туза» после n перемешиваний. Покажите, что X_n образует марковскую цепь. Найдите вероятность того, что после большого числа перемешиваний «туз» окажется сверху.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Наличие в электронном каталоге ЭБС	
Основная литература			
1. Маталыцкий, М. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник / М. А. Маталыцкий, Г. А. Хацкевич - Минск : Выш. шк. , 2017. - 591 с. - ISBN 978-985-06-2855-8.	2017	https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850628558.html	
2. Чжун, К. Л. Элементарный курс теории вероятностей. Стохастические процессы и финансовая математика / Чжун К. Л. - Москва : Лаборатория знаний, 2017. - 458 с. - ISBN 978-5-00101-524-6.	2017	https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785001015246.html	
3. Кельберт, М. Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Том 2: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов: Учебное пособие / Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. - Москва : МЦНМО, 2017. - 560 с.: ISBN 978-5-4439-2327-7.	2017	https://www.rfbr.ru/rffi/portal/books/o_26673#1	
Дополнительная литература			
1. Модели в теории вероятностей [Электронный ресурс] / Федоткин М.А. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113847.html	
2. Вероятность: В 2-х кн.Кн. 2. [Электронный ресурс] / Ширяев А.Н. - 4-е изд., переработ. и доп. - М.: МЦНМО, 2007.	2007	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940571063.html	

6.2. Периодические издания

1. Успехи математических наук, журнал РАН (корпус 3, ауд. 414)

6.3. Интернет-ресурсы

1. <http://window.edu.ru/>
2. <http://www.exponenta.ru/>
3. <http://allmath.com/>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного и практического типа. Практические работы проводятся в лаборатории численных методов (405-3).

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: Microsoft Excel, Maple.

Рабочую программу составила:

к.ф.-м.н., доцент ФАиП Буланкина Л.А. 

Рецензент (представитель работодателя):

заместитель директора по развитию ООО «Баланс» Кожин А.В. 

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФАиП

Протокол № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой ФАиП к.ф.-м.н., доцент Бурков В.Д. 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Протокол № 1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии: заведующий кафедрой Аракелян С.М. 

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2022 года

Заведующий кафедрой _____ *С.И. Юрских*

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____