МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

|  |
| --- |
| Институт информационных технологий, математики и механики |

|  |
| --- |
| УТВЕРЖДАЮ: |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Директор |  | В.П. Гергель |

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| **Вероятностные модели в естествознании-2** |

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| **Бакалавриат** |

Направление подготовки

|  |
| --- |
| **01.03.02 Прикладная математика и информатика** |

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| **Прикладная математика и информатика (общий профиль)** |

Квалификация

|  |
| --- |
| **Бакалавр** |

Форма обучения

|  |
| --- |
| **очная** |

Нижний Новгород

2018

**1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина Б1.В.ДВ.12.07 «Вероятностные модели в естествознании-2» предназначена для студентов 4-го курса бакалавриата (8 семестр), обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», относится к вариативной части ОПОП и является дисциплиной по выбору. Дисциплина опирается на материал курсов «Теория вероятностей и мат. статистика», «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Языки и методы программирования», «Функциональный анализ», «Компьютерное моделирование вероятностных процессов» и «Вероятностные модели в естествознании-1».

**Цель освоения дисциплины:** изучение приложений математических моделей в виде стохастических дифференциальных уравнений. Стохастические дифференциальные уравнения (СДУ) представляют собой математические модели динамических систем, испытывающих случайные воздействия. Теория СДУ представляет собой один из наиболее глубоких и тонких разделов современной математики. В то же время СДУ служат мощным инструментом для исследования диффузионных процессов, задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. Эти факты служат обоснованием необходимости включения данной дисциплины в учебный план специализации направления подготовки 010302 «Прикладная математика и информатика».

Более конкретная формулировка целей освоения дисциплины:

* изучение применения стохастических дифференциальных уравнений к исследованию диффузионных процессов;
* изучение применения стохастических дифференциальных уравнений к задаче оптимальной линейной фильтрации;
* изучение применения стохастических дифференциальных уравнений к задаче стохастического оптимального управления.
1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ***ПК-1******способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям******(завершающий этап)*** | ***ЗНАТЬ****З1(ПК1)* теорию стохастических дифференциальных уравнений необходимую для исследования диффузионных процессов и задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***УМЕТЬ****У1(ПК1)* ставить и решать задачи оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления |
| ***ПК-2******способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат******(завершающий этап)*** | ***ЗНАТЬ****З1(ПК2)* методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***УМЕТЬ****У1(ПК2)* решать задачи оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***ВЛАДЕТЬ****В1(ПК2)* математической техникой теории стохастических дифференциальных уравнений необходимой для исследования диффузионных процессов и задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. |
| ***ПК-7******способность к разработке и применению алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программного обеспечения******(завершающий этап)*** | ***УМЕТЬ****У1(ПК7)* применять современное программное обеспечение для решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. |

1. **Структура и содержание дисциплины «Вероятностные модели в естествознании-2»**

Объем дисциплины составляет 3зачетных единицы, всего108часов, из которых**41**час составляет **контактная работа** обучающегося с преподавателем:

20часов - занятия лекционного типа,

20часов–практических работ

1 час – мероприятия промежуточной аттестации

На самостоятельную работу обучающегося отведено 67 часов.

Содержание дисциплины

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,****форма промежуточной аттестации по дисциплине** | **Всего****(часы)** | в том числе |
| **контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**из них | **Самостоятельная** **работа студента** **часы** |
|  **Занятия лекционного типа** |  **Занятия семинарского типа** | **Лабораторные работы** |  | **Всего****контактных часов** | **СРС** |  |  |
| **Диффузионные процессы**Определение диффузионного процесса Ито. Марковское свойство диффузионных процессов. Строго марковское свойство диффузионных процессов. Производящий дифференциальный оператор диффузионного процесса Ито. Формула Дынкина. | 28 | 4 | 4 |  |  | 8 | 20 |  |  |
| **Оптимальная линейная фильтрация**Постановка задачи оптимальной фильтрации – предварительные результаты. Теория фильтрации Калмана - Бьюси. Одномерная задача фильтрации. Вывод уравнений фильтрации: линейные и измеримые оценки, инновационный (обновляющий) процесс, инновационный процесс и винеровский процесс, стохастическое дифференциальное уравнение для оценки. Многомерная задача фильтрации. Матричное уравнение Риккати в задаче оптимальной фильтрации и его свойства. Стационарная задача фильтрации и алгебраическое уравнение Риккати | 36 | 8 | 8 |  |  | 16 | 20 |  |  |
| **Стохастическое оптимальное управление**Постановки задач управления при случайных возмущениях. Классы допустимых управлений. Оптимальное управление. Достаточные условия оптимальности. Оптимальное управление с обратной связью. Оптимальное управление линейными системами с обратной связью по состоянию. Задача стабилизации. Оптимальное стабилизирующее управление. Стохастическая функция Ляпунова-Беллмана. Асимптотическое поведение управления на бесконечном интервале времени. Обобщенные матричные уравнения типа Риккати в задачах стохастического управления и их свойства. Постановка задачи управления на основе оценки состояния. Представление оценки в виде диффузионного процесса. Достаточные условия оптимальности. Решение уравнения Беллмана. Стохастический линейно-квадратический регулятор с обратной связью по выходу. Теорема разделения. | 43 | 8 | 8 |  |  | 16 | 27 |  |  |
| В том числе текущий контроль | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Промежуточная аттестация - Зачет** |

1. **Образовательные технологии**

Основной формой обучения является лекционная. В процессе изучения дисциплины используется свободно распространяемое бесплатное программное обеспечение (пакет Scilab).

1. **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**
	1. **Виды самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа обучающихся реализуется в следующих формах: выполнение домашних заданий по дисциплине, составление компьютерных программ, реализующих методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления по индивидуальным заданиям преподавателя. Самостоятельная работа контролируется преподавателем, как во время аудиторных занятий, так и во время внеаудиторной работы, в том числе с использованием консультаций по электронной почте.

Самостоятельная работа обучающихся заключается в ознакомлении с теоретическим материалом (по учебно-методическим пособиям, учебникам и научным работам, указанным в списке литературы). Самостоятельная работа может осуществляться как в читальном зале библиотеки, так и в домашних условиях.

Практические работы выполняется в компьютерном классе ПЭВМ по всем разделам дисциплины и включает в себя следующие работы:

* Практическая работа «Моделирование диффузионных процессов»;
* Практическая работа «Расчет и моделирование фильтра Калмана-Бьюси»;
* Практическая работа «Расчет и моделирование стохастического оптимального регулятора».
	1. **Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов**
1. Федоткин М.А. Модели в теории вероятностей. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 608 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113847.html>
2. Пугачев B.C. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие.- 2-е изд., исправл. и дополн.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 496 с. - ISBN 5-9221-0254-0. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ShaminConform2008ru.pdf>
3. Пухальский А.А. Большие уклонения стохастических динамических систем. Теория и приложения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 512 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106600.html>
4. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,включающий:**
	1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

*Оценка уровня формирования компетенции ПК‐1*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индикаторыкомпетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | Шкала оценивания |
| ***ЗНАТЬ****З1(ПК1)* теорию стохастических дифференциальных уравнений необходимую для исследования диффузионных процессов и задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***УМЕТЬ****У1(ПК1)* ставить и решать задачи оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления | Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач | Плохой уровень формирования компетенции. «Плохо» |
| Наличие грубых ошибок в основном материале,наличие грубых ошибок при решении стандартных задач | Неудовлетворительный уровень формирования компетенции. «неудовлетворительно» |
| **Знать** спогрешностямитеорию стохастических дифференциальных уравнений.**Уметь** У1 с погрешностями. | Удовлетворительный уровень формирования компетенции. «Удовлетворительно» |
| **Знать** с незначительнымипогрешностямитеорию стохастических дифференциальных уравнений; **Уметь** У1 с незначительными погрешностями. | Хороший уровеньформирования компетенции. «Хорошо» |
| **Знать** теорию стохастических дифференциальных уравнений;**Уметь** У1 с незначительными погрешностями | Очень хороший уровеньформирования компетенции  «Очень хорошо» |
| **Знать** теорию стохастических дифференциальных уравнений;. **Уметь** У1 в полном объеме | Отличный уровеньформирования компетенции  «Отлично» |
| **Знать** основной и дополнительный материалтеории стохастических дифференциальных уравнений;. **Уметь**У1 в полном объеме | Превосходный уровеньформирования компетенции  «Превосходно» |

*Оценка уровня формирования компетенции ПК‐2*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | Шкала оценивания |
| ***ЗНАТЬ****З1(ПК2)* методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***УМЕТЬ****У1(ПК2)* решать задачи оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления;***ВЛАДЕТЬ****В1(ПК2)* математической техникой теории стохастических дифференциальных уравнений необходимой для исследования диффузионных процессов и задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. | Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач, полное отсутствие навыков, предусмотренных компетенцией. | Плохой уровень формирования компетенции. «Плохо» |
| Наличие грубых ошибок в основном материале,наличие грубых ошибок при решении стандартных задач,отсутствие навыков, предусмотренных данной компетенцией | Неудовлетворительный уровень формирования компетенции. «неудовлетворительно» |
| **Знать** основные методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления.**Уметь** У1 с погрешностями. **Владеть** некоторыми основными навыками, демонстрируя их в стандартных ситуациях. | Удовлетворительный уровень формирования компетенции. «Удовлетворительно» |
| **Знать** основные методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. **Уметь** У1 с незначительными погрешностями. **Владеть** основными навыками, демонстрируя их в стандартных ситуациях | Хороший уровеньформирования компетенции. «Хорошо» |
| **Знать** методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления**. Уметь** У1 с незначительными погрешностями. **Владеть** всеми основными навыками, демонстрируя их в стандартных ситуациях | Очень хороший уровеньформирования компетенции  «Очень хорошо» |
| **Знать** методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления**. Уметь** У1 в полном объеме. **Владеть** всеми навыками, демонстрируя их в стандартных ситуациях. | Отличный уровеньформирования компетенции  «Отлично» |
| **Знать** методы решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления**.**. **Уметь**У1 в полном объеме. Свободно **Владеть** всеми навыками, демонстрируя их в стандартных и нестандартных ситуациях. | Превосходный уровеньформирования компетенции  «Превосходно» |

*Оценка уровня формирования компетенции ПК‐7*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Индикаторы компетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) | Шкала оценивания |
| ***УМЕТЬ****У1(ПК7)* применять современное программное обеспечение для решения задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления. | Полное отсутствие способности решения стандартных задач, предусмотренных компетенцией | Плохой уровень формирования компетенции. «Плохо» |
| Отсутствие способности решения стандартных задач, предусмотренных данной компетенцией | Неудовлетворительный уровень формирования компетенции. «неудовлетворительно» |
| **Уметь** применять какое-либо современное программное обеспечение для решения стандартных задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления | Удовлетворительный уровень формирования компетенции. «Удовлетворительно» |
| **Уметь** применять какое-либо современное программное обеспечение для решения стандартных и нестандартных задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления | Хороший уровеньформирования компетенции. «Хорошо» |
| **Уметь** применять основное современное программное обеспечение для решения стандартных и нестандартных задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления | Очень хороший уровеньформирования компетенции  «Очень хорошо» |
| **Уметь** применять современное программное обеспечение для решения стандартных и нестандартных задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления | Отличный уровеньформирования компетенции  «Отлично» |
| **Уметь** применять современное программное обеспечение для решения стандартных и нестандартных задач оптимальной линейной фильтрации и стохастического оптимального управления в полном объеме | Превосходный уровеньформирования компетенции  «Превосходно» |

**Карта компетенций для оценивания умений и навыков**

|  |  |
| --- | --- |
| Индикаторыкомпетенции | Критерии оценивания (дескрипторы) |
| «плохо» | «неудовлетворительно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «очень хорошо» | «отлично» | «превосходно» |
| УменияУ1(ПК1)У1(ПК2)У1(ПК7) | отсутствует способность решения стандартных задач | наличие грубых ошибок при решении стандартных задач | способность решения основных стандартных задач с негрубыми ошибками | способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями | способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей | Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач | способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач |
| НавыкиВ1(ПК2) | полное отсутствие навыков, предусмотренных компетенцией | отсутствие ряда важнейших навыков, предусмотренных данной компетенцией | наличие минимально необходимого множества навыков  | наличие большинства основных навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях | наличие всех основных навыков, продемонстрированных в стандартных ситуациях | наличие всех навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях | Наличие всех навыков, продемонстрированное в стандартных и нестандартных ситуациях |

* 1. Описание шкал оценивания

Для оценивания результатов учебной деятельности студентов при изучении дисциплины «Вероятностные модели в естествозании-2» используется балльная система оценки учебной работы студентов. По результатам промежуточной аттестации проставляются оценки «Зачтено» (соответствует уровням оценки компетенций «удовлетворительно» и выше) и «Не зачтено» (соответствует уровням оценки компетенций «плохо» и «неудовлетворительно»).

* 1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение компьютерных практикумов, сдача отчетов по выполненным работам; разработка компьютерных программ, реализующих методы решения стохастических дифференциальных уравнений.

**Критерии оценок решения задачи**

(одна задача оценивается в 2 балла)

|  |  |
| --- | --- |
| Решена полностью | 2  |
| Решена основная часть задачи, или задача решена с недочетами | 1,5  |
| Решена задача наполовину | 1 |
| Сделан первый этап в решении задачи  | 0,5 |
| Нет решения | 0 |

**Критерии оценок ответа на теоретический вопрос**

(один вопрос оценивается в 2 балла)

|  |  |
| --- | --- |
| Вопрос полностью раскрыт | 2  |
| Вопрос раскрыт с некоторыми недочетами | 1,5  |
| Вопрос раскрыт наполовину | 1 |
| Вопрос раскрыт не полностью с большими недочетами | 0,5 |
| Нет ответа | 0 |

**Суммарная оценка**

|  |  |
| --- | --- |
| **Количество баллов** | **Оценка** |
| 4 | Отлично |
| 3,5 | Очень хорошо |
| 3 | Хорошо |
| 2-2,5 | Удовлетворительно |
| 0,5-1,5 | Неудовлетворительно |
| 0  | Плохо |

* 1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Список контрольных вопросов для оценивания результатов обучения в виде знаний З1(ПК1), З2(ПК2) формирования компетенций ПК-1, ПК-2:

**Вопросы для контроля:**

1. Определение диффузионного процесса Ито.
2. Марковское свойство диффузионных процессов.
3. Строго марковское свойство диффузионных процессов.
4. Производящий дифференциальный оператор диффузионного процесса Ито.
5. Формула Дынкина.
6. Постановка задачи оптимальной фильтрации – предварительные результаты.
7. Теория фильтрации Калмана - Бьюси.
8. Одномерная задача фильтрации.
9. Вывод уравнений фильтрации: линейные и измеримые оценки, инновационный (обновляющий) процесс, инновационный процесс и винеровский процесс, стохастическое дифференциальное уравнение для оценки.
10. Многомерная задача фильтрации.
11. Матричное уравнение Риккати в задаче оптимальной фильтрации и его свойства.
12. Стационарная задача фильтрации и алгебраическое уравнение Риккати
13. Постановки задач управления при случайных возмущениях.
14. Классы допустимых управлений.
15. Оптимальное управление.
16. Достаточные условия оптимальности.
17. Оптимальное управление с обратной связью.
18. Оптимальное управление линейными системами с обратной связью по состоянию.
19. Задача стабилизации.
20. Оптимальное стабилизирующее управление.
21. Стохастическая функция Ляпунова-Беллмана.
22. Асимптотическое поведение управления на бесконечном интервале времени.
23. Обобщенные матричные уравнения типа Риккати в задачах стохастического управления и их свойства.
24. Постановка задачи управления на основе оценки состояния.
25. Представление оценки в виде диффузионного процесса.
26. Достаточные условия оптимальности.
27. Решение уравнения Беллмана.
28. Стохастический линейно-квадратический регулятор с обратной связью по выходу.
29. Теорема разделения.

**Примеры вопросов для зачета**

1. Теорема Калмана-Бьюси
2. Матричное уравнение Риккати в задаче оптимальной фильтрации и его свойства.
3. Постановки задач управления при случайных возмущениях.
4. Стохастическое оптимальное управление линейными системами с обратной связью по состоянию.
5. Постановка задачи управления на основе оценки состояния.
6. Стохастический линейно-квадратический регулятор с обратной связью по выходу.
7. Теорема разделения

**Примеры практических задач**

**Примеры задач для оценки компетенции ПК-1**

**Задача 1.** Докажите, что если одномерная система описывается уравнением

,

а процесс наблюдений уравнением

,

то функция  задается равенством,

.

**Задача 2.** Рассмотрим линейную одномерную задачу фильтрации без шума в системе:



Положим  и допустим, что .

Покажите, что функция



удовлетворяет линейному дифференциальному уравнению

.

**Примеры задач для оценки компетенции ПК-2**

**Задача 1.** Решить двумерную задачу фильтрации



**Задача 2.** Решить двумерную задачу фильтрации



**Примеры задач для оценки компетенции ПК-7**

**Задача 1.** Написать программу решения системы дифференциальных уравнений методом Эйлера-Маруяма

****

Чтобы применить численный метод на отрезке [*0*, *T*], необходимо сначала дискретизировать этот интервал.

**Задача 2.** Написать программу решения системы дифференциальных уравнений методом Мильштейна

****

Чтобы применить численный метод на отрезке [*0*, *T*], необходимо сначала дискретизировать этот интервал.

* 1. **Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД, URL:

<http://www.unn.ru/site/images/docs/obrazov-org/Formi_stroki_kontrolya_13.02.2014.pdf>

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

1. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Федоткин М.А. Модели в теории вероятностей. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 608 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113847.html>

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

б) дополнительная литература:

1. Пугачев B.C. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие.- 2-е изд., исправл. и дополн.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 496 с. - ISBN 5-9221-0254-0. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/ShaminConform2008ru.pdf>
2. Пухальский А.А. Большие уклонения стохастических динамических систем. Теория и приложения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 512 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106600.html>

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. YALMIP Wiki <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>
2. Scilab http://www.scilab.org/

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа (оснащенные проектором), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ. Наличие рекомендуемой литературы.

Компьютерный класс, оснащенный необходимым программным обеспечением:

* операционные системы семейства Microsoft Windows, – лицензия по подписке Microsoft Imagine;
* свободно распространяемое бесплатное программное обеспечение (пакет Scilab <http://www.scilab.org>, пакет YALMIP – <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>, решатель SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Автор\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ П.В. Пакшин

Рецензент:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой ПРИН\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.П. Гергель

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского