

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы теории вероятностей в задачах исследования систем с
неопределенными параметрами

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическая робототехника

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Методы теории вероятностей в задачах исследования систем с неопределенными параметрами относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1:</p> <p>Знать</p> <ul style="list-style-type: none"> -основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теорему о дополнении Шура -основные определения стохастической устойчивости -современные программные средства решения задач полуопределенного программирования <p>ПК-11.2:</p> <p>Уметь</p> <ul style="list-style-type: none"> -строить модели линейных систем со случайными возмущениями параметров и структуры -решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования <p>ПК-11.3:</p> <p>Владеть</p> <ul style="list-style-type: none"> -навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета 	<p>Задачи</p> <p>Собеседование</p> <p>Тест</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Практическое задание</p>

		YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем.		
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1:</p> <p>Знать</p> <p>-основы теории линейных матричных неравенств и теории стохастической устойчивости и стабилизации</p> <p>-стохастический аналог второго метода Ляпунова</p> <p>-постановку и решение задачи стохастического линейно-квадратичного регулятора</p> <p>ПК-4.2:</p> <p>Уметь</p> <p>-применять теорию линейных матричных неравенств для решения задач анализа и синтеза стохастических систем</p> <p>-решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН</p> <p>ПК-4.3:</p> <p>Владеть</p> <p>-современными программными средствами для исследования робастных и стохастических систем</p>	Задачи Собеседование Тест	Экзамен: Контрольные вопросы Практическое задание

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Элементы выпуклой оптимизации и линейные матричные неравенства	16	4	4	8	8
Тема 2. Стохастическая устойчивость, стабилизация и робастность	18	4	4	8	10
Тема 3. Решение матричных уравнений и неравенств	18	4	4	8	10
Тема 4. Алгоритмы и программные средства полуопределенного программирования	18	4	4	8	10
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	16	34	38

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Непрерывность, компактность. Выпуклые множества, выпуклые комбинации, выпуклые оболочки. Выпуклые функции и их свойства. Оптимизация выпуклых функций. Теорема о неравенстве на выпуклой оболочке. Аффинные функции. Постановки задач исследования линейных матричных неравенств. Полуопределенное программирование. Матричные и скалярные переменные в линейных матричных неравенствах. Теорема Шура о дополнении. S – процедура. Примеры.

Тема 2. Понятие стохастической устойчивости. Стохастическая функция Ляпунова (СФЛ). Производящий дифференциальный оператор СФЛ. СФЛ как супермартингал. Достаточные условия экспоненциальной p - устойчивости. Устойчивость в среднем квадратическом линейных диффузионных систем и систем с переключаемой диффузией. Задача стохастической линейно - квадратической стабилизации. Стабилизирующее и оптимальное стабилизирующее управление с обратной связью. Формулировка условий стохастической устойчивости и стабилизации в терминах ЛМН.

Тема 3. Сведение билинейных матричных неравенств в задачах линейно квадратической стабилизации к ЛМН. Решение нестандартных матричных уравнений в задачах линейно-квадратичной стабилизации на основе вспомогательной задачи выпуклой оптимизации при ограничениях в виде ЛМН.

Тема 4. Полуопределенное программирование. Двойственность в задачах полуопределенного программирования. Решение ЛМН как задача полуопределенного программирования. Численные методы решения ЛМН. Метод внутренней точки. Решатели и интерфейсные пакеты для исследования ЛМН (LMI TOOL, SeDuMi, YALMIP и др.)

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

Баландин Д.В., Коган М.М. Алгоритмы синтеза робастного управления динамическими системами Учеб. метод. пособие. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. — 90 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.unn.ru/e-library/aids.html?pscience=6&posdate=2007>

б) дополнительная литература:

Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. Допущено УМС по прикладной математике и информатике УМО – М.: Физматлит, 2007. – 280 с. 1 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=330023&DB=1>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. $A^T P + PA < 0, P > 0;$
2. $A^T PA - P < 0, P > 0;$
3. $A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q < 0, P > 0;$
4. $A^T P - P - A^T PB(R + B^T PB)^{-1}B^T PA + Q < 0, P > 0;$
5. $A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q \geq 0, P > 0, \text{trace } P \rightarrow \max .$

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Решить задачу стабилизации по состоянию на основе ЛМН
 $\dot{x} = Ax + Bu$
 $z = Cx$
2. Решить задачу стабилизации по выходу на основе ЛМН
 $\dot{x} = Ax + Bu$
 $z = Cx$

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

Собеседование проходит в виде сдачи отчета по практическим работам. Отчет оформляется в электронном виде, где указывается цель работы, постановка задачи, ход выполнения работы, результат выполнения работы и выводы.

Темы практических работ:

1. Практическая работа «Решение простейших примеров и задач»;
2. Практическая работа «Решение квадратных матричных уравнений на основе ЛМН»;
3. Практическая работа «Синтез робастного стабилизирующего управления линейной системой на основе ЛМН».

Темы практических работ могут незначительно меняться на усмотрение преподавателя.

В ходе сдачи практической работы студенту необходимо ответить на любой вопрос по теме практической работы и пояснить все этапы выполнения работы.

1. Теорема Шура о дополнении. S – процедура. Примеры.
2. Понятие стохастической устойчивости.
3. Достаточные условия экспоненциальной p - устойчивости.
4. Устойчивость в среднем квадратическом линейных диффузионных систем и систем с переключаемой диффузией.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Непрерывность, компактность.
2. Выпуклые множества, выпуклые комбинации, выпуклые оболочки.
3. Выпуклые функции и их свойства.
4. Оптимизация выпуклых функций.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.1.5 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Какое высшее учебное заведение закончил Цыпкин Я.З.:
 - Московский электронно-технический институт связи
 - Московский физико-технический институт
 - Московский государственный технический институт им. Баумана
 - Московский авиационный институт

2. Самым известным вкладом Калмана в теории управления является:

- фильтр Калмана
- Лемма Калмана
- Критерий Калмана
- Метод Калмана

3. В 1960-х В.М. Попов получил связь между подходами:

- подход для построения состояний (основанный на функции Ляпунова)
- подход с частотной областью определения устойчивости
- подход для построения модели входа - выхода

5.1.6 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Работа, известная сейчас как теория Ляпунова была опубликована в:

- 1854 г.
- 1912 г.
- 1890 г.
- 1934 г.

2. Дифференциальное уравнение $\frac{d}{dt}x(t) = Ax(t)$ устойчиво в теории Ляпунова если:

- существует положительно определенной матрицы P такой, что $A^T P + PA < 0$
- существует отрицательно определенной матрицы P такой, что $A^T P + PA < 0$
- существует матрицы P такой, что $A^T P + PA < 0$
- существует положительно определенной матрицы P такой, что $A^T P + PA > 0$

3. Неравенство Ляпунова выглядит:

- $A^T P + PA < 0$
- $A^T P + PA > 0$
- $AP + PA^T < 0$
- $AP + PA^T > 0$

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	как минимум 80% правильных ответов в тесте
не зачтено	менее 80% правильных ответов в тесте

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Теорема Шура о дополнении.
2. Численные методы решения ЛМН. Метод внутренней точки.
3. Решатели и интерфейсные пакеты для исследования ЛМН.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Оптимизация выпуклых функций.
2. Теорема о неравенстве на выпуклой оболочке и её применение к задаче квадратичной устойчивости.
3. Постановка задач исследования линейных матричных неравенств (ЛМН). Понятие о полуопределенном программировании.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент дал развернутый ответ на все вопросы и при этом продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент дал развернутый ответ на все вопросы.
очень хорошо	Студент дал ответ на все вопросы, возможно с незначительными недочетами.

Оценка	Критерии оценивания
хорошо	Студент ответил на большую часть вопросов с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент ответил на большую часть вопросов с существенными недочетами.
неудовлетворительно	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-11

Свести билинейные матричные неравенства к линейным:

- $A^T X + XA - XBR^{-1}B^T X + \sum_{i=1}^N A_i^T XA_i + Q \leq 0, \quad X > 0,$
- $A^T XA - X - A^T XB(B^T XB + R)^{-1}B^T XA + \sum_{i=1}^N A_i^T XA_i + Q \leq 0, \quad X > 0,$
- $A_i^T X_i A_i - Y_i - A_i^T X_i B_i (B_i^T X_i B_i + R_i)^{-1} B_i^T X_i A_i + Q_i \leq 0, \quad X_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} Y_j, Y_j \geq 0,$
- $A_i^T X_i + X_i A_i - X_i B_i R_i^{-1} B_i^T X_i + \sum_{j=1}^N \pi_{ij} X_j + Q_i \leq 0, \quad X_i \geq 0$
- $A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q < 0, \quad P > 0$
- $A^T P - P - A^T PB(R + B^T PB)^{-1}B^T PA + Q < 0, \quad P > 0$
- $A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q \geq 0, \quad P > 0, \text{ trace } P \rightarrow \max.$

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-4

задача 1. линеаризованная модель движения описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{\mathcal{G}} &= \omega_z, \\ \dot{\omega}_z &= -a_{mc}^{\alpha} \mathcal{G} - a_{mc}^{\omega_z} \omega_z + a_{mc}^{\Theta} \Theta + a_{mc}^{\delta} \delta, \\ \dot{\Theta} &= -a_y^{\alpha} \mathcal{G} + a_y^{\Theta} \Theta,\end{aligned}$$

где \mathcal{G} - угол тангажа, ω_z - угловая скорость, $\Theta = \mathcal{G} - \alpha$, α - угол атаки, δ - угол отклонения руля высоты. Переменные состояния и управления в этом случае следующие:

$$x(t) = [\mathcal{G} \quad \omega_z \quad \Theta]^T, \quad u(t) = \delta.$$

Обычно только \mathcal{G} и ω_z доступны непосредственному измерению и выходной переменной в данном случае является $y(t) = [\mathcal{G} \quad \omega_z]^T$. Рассматриваемый летательный аппарат имеет 9 характерных режимов полета с неопределенностями каждого режима, заданными соотношениями

$$\begin{aligned}a_{mc0}^{\alpha} - \Delta a_{mc}^{\alpha} &\leq a_{mc}^{\alpha} \leq a_{mc0}^{\alpha} + \Delta a_{mc}^{\alpha}, \quad \Delta a_{mc}^{\alpha} = q_1 a_{mc0}^{\alpha}, \quad a_{y0}^{\alpha} - \Delta a_y^{\alpha} \leq a_y^{\alpha} \leq a_{y0}^{\alpha} + \Delta a_y^{\alpha}, \quad \Delta a_y^{\alpha} = q_3 a_{y0}^{\alpha}, \\ a_{mc0}^{\omega_z} - \Delta a_{mc}^{\omega_z} &\leq a_{mc}^{\omega_z} \leq a_{mc0}^{\omega_z} + \Delta a_{mc}^{\omega_z}, \quad \Delta a_{mc}^{\omega_z} = q_2 a_{mc0}^{\omega_z}, \quad a_{mc0}^{\delta} - \Delta a_{mc}^{\delta} \leq a_{mc}^{\delta} \leq a_{mc0}^{\delta} + \Delta a_{mc}^{\delta}, \quad \Delta a_{mc}^{\delta} = q_4 a_{mc0}^{\delta}.\end{aligned}$$

Численные значения параметров следующие:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -4 & -1 & 4 \\ 0.62 & 0 & -0.62 \end{bmatrix}, \quad B_1^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ -7.5 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -a_{mx0}^{\alpha}(1-q_1) & a_{mx0}^{\omega}(1+q_2) & a_{mx0}^{\alpha}(1+q_2) \\ -a_{my0}^{\alpha}(1+q_3) & 0 & -a_{y0}^{\alpha}(1+q_3) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ a_{mz0}^{\delta}(1+q_4) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$q_i \in [-\delta_i; \delta_i]$$

Для номинально заданных значений матриц A_0, B_0 найти управление с обратной связью по выходу Y .

Для заданных неопределенностей проверить выполняется ли для системы условие квадратичной устойчивости. Найти для каждого неопределенного параметра границы, в которых выполняется условие квадратичной устойчивости.

$$U = \delta = -FCx = -Fy$$

$$A(\delta) = (A - BFC)$$

В остальных задачах могут меняться исходные данные и модель системы.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент сделал все практические задания и при этом продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент сделал все практические задания без ошибок.
очень хорошо	Студент сделал все практические задания, возможно с незначительными недочетами.
хорошо	Студент сделал большую часть практических заданий с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент сделал большую часть практических заданий с существенными недочетами.
неудовлетворительно	Студент допускает грубые ошибки в решении стандартных практических заданий.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Никифоров Владимир Олегович. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений / С.-Петербург. гос. ун-т информац. технологий, точной механики и оптики. - СПб. : Наука, 2003. - 282 с. - ISBN 5-02-025006-6 : 33.00., 2 экз.
2. Цыкунов Александр Михайлович. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу. - М. : Физматлит, 2009. - 268 с. - Библиогр.: с. 259 - 267. - ISBN 978-5-9221-1094-5 : 80.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Баландин Д. В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств / Баландин Д. В., Коган М. М. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 280 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Математика. - ISBN 978-5-9221-0780-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=695926&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. YALMIP Wiki <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>
2. Scilab <http://www.scilab.org/>
3. SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: - операционные системы семейства Microsoft Windows; - 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/>).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Пакшин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.