

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
« 30 » \_ноября\_ 2021 г. № \_13\_

**Рабочая программа дисциплины**

Робастное управление

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Вероятностное моделирование и анализ данных

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений  
Б1.В.ДВ.03.02 Робастное управление

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В. ДВ.03.02, «Робастное управление» относится к части ООП направления подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», формируемой участниками образовательных отношений

## 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**	
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1. Знает методы критического анализа проблемных ситуаций.	Знать: 1) основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теорему о дополнении Шура 2) основные показатели качества линейных систем, принятые в современной теории ( $H_\infty$ - показатель, $H_2$ - показатель, $L_1$ - показатель) 3) методы исследования устойчивости и стабилизации линейных систем с аффинными и полиномиальными неопределенностями с применением ЛМН	Собеседование Тест
	УК-1.2. Умеет вырабатывать стратегию действий при возникновении критических ситуаций.	Уметь: 1) применять теорию линейных матричных неравенств для решения задач анализа и синтеза робастных систем 2) решать задачи робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН	Задача (практическое задание)
ПК-5. Способен демонстрировать общенаучные базовые знания	ПК-5.1. Знает основы научно-исследовательской деятельности в	Знает: 1) методы решения нестандартных матричных уравнений в задачах робастного	Собеседование

математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; способен применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии	области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения.	управления на основе выпуклой оптимизации и ЛМН	
	ПК-5.2. Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности.	Умеет:  1) строить политопные и аффинные модели линейных систем с неопределенностями  2) решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования	Задача (практическое задание)
	ПК-5.3. Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий.	Имеет навыки  1) применять современные программные средства решения задач полуопределенного программирования	Задача (практическое задание)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>34</b>
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	0
- текущий контроль (КСР)	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы) Очная	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы Очная
		Занятия лекционного типа Очная	Занятия семинарского типа Очная	Занятия лабораторного типа Очная	Всего Очная	
<b>Диссипативность и пассивность</b>  Устойчивость по Ляпунову. Метод функций Ляпунова. Устойчивость линейных систем. Неравенство Ляпунова. Диссипативность динамических систем. Функции запаса и накопления. Примеры. Нормализованные функции накопления. Функции требуемого запаса и доступного накопления. Теорема Виллемса о диссипативности динамических систем общего вида. Связь функций накопления с функциями Ляпунова. Линейные системы с квадратичной функцией накопления. Диссипативность линейных систем.  Строгая диссипативность линейных систем. Функция диссипации. Лемма Якубовича-Калмана. Лемма о вещественной положительности. Лемма о вещественной ограниченности. $H_\infty$ - показатель качества линейной системы. $H_2$ - показатель качества линейной системы. Обобщенный $H_2$ -показатель линейной системы. $L_1$ -показатель линейной системы. Диссипативность и пассивность стохастических систем.	35	4	6		10	25
<b>Квадратичная устойчивость</b>  Линейные системы с неопределенностями. Квадратичная устойчивость линейных систем с аффинными неопределенностями. Квадратичная устойчивость линейных систем с политопными неопределенностями. Аффинная квадратичная устойчивость линейных систем с постоянными неопределенностями. Аффинная квадратичная устойчивость линейных систем с неопределенностями, зависящими от времени. Задачи стабилизации и одновременной стабилизации. Решение задачи	28	4	4		8	20

стабилизации на основе ЛМН						
<b>Решение матричных уравнений и неравенств</b>  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.	26	4	4		8	18
<b>Алгоритмы и программные средства полуопределенного программирования</b>  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.)	18	4	2		6	12
Текущий контроль (КСР)	2	0	0		2	0
Промежуточная аттестация – зачет						
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>34</b>	<b>75</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа)

Промежуточная аттестация проходит в традиционных форма (зачет)

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся заключается в ознакомлении с теоретическим материалом (по учебно-методическим пособиям, учебникам и научным работам, указанным в списке литературы); ответов на вопросы самоконтроля; в решении практических задач; разработке компьютерных программ, реализующих алгоритмы решения задач робастной устойчивости и стабилизации. Самостоятельная работа может осуществляться, как в читальном зале библиотеки, так и в домашних условиях

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс «Статистика случайных процессов» (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6163>), созданный в системе электронного обучения ННГУ – <https://e-learning.unn.ru/>.

**Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 незначительными 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 владения материалом. 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 собеседовании

Результат ответов	Оценка
Студент дает верные развернутые ответы на вопросы преподавателя	зачтено
Студент отвечает только на часть вопросов, или отвечает с ошибками, или не дает развернутого ответа на вопросы	не зачтено

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Диссипативность динамических систем. Функции запаса и накопления.	ПК-5
2. Теорема Виллемса о диссипативности динамических систем общего вида.	ПК-5
3. Диссипативность линейных систем. Формулировка в терминах ЛМН.	УК-1

4. Лемма о вещественной положительности.	УК-1
5. Лемма о вещественной ограниченности.	УК-1
6. Нахождение $H_{\infty}$ показателя на основе ЛМН.	УК-1
7. Нахождение $H_2$ показателя на основе ЛМН.	УК-1
8. Нахождение обобщенного $H_2$ показателя на основе ЛМН.	УК-1
9. Нахождение $L_1$ показателя на основе ЛМН.	ПК-5
10. Исследование квадратичной устойчивости линейных систем с аффинными и полиномиальными неопределенностями на основе ЛМН.	УК-1
11. Исследование аффинной квадратичной устойчивости линейных систем с неопределенностями, зависящими от времени на основе ЛМН.	УК-1
12. Задачи стабилизации и одновременной стабилизации. Решение задачи стабилизации на основе ЛМН.	УК-1
13. Сведение билинейных матричных неравенств в задачах линейно-квадратической стабилизации к ЛМН.	УК-1
14. Решение нестандартных матричных уравнений в задачах линейно-квадратичной стабилизации на основе вспомогательной задачи выпуклой оптимизации при ограничениях в виде ЛМН.	ПК-5

## 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции УК-1

### Электронные тесты со случайной выборкой вопросов

#### Группа №1

1. Лемма о положительной вещественности была впервые использована:

- Якубовичем В.А.
- Поповым В.М.
- Калманом Р.Е.
- Сандбергом И.В.

2. Линейное матричное неравенство, возникающее в лемме о положительной вещественности возможно решить:

- Графическим способом
- При помощи уравнения Риккати
- При помощи компьютера
- при помощи разложения гамильтониана

3. Уравнение Риккати имеет вид:

- $A^T P + PA + (PB + C^T)R^{-1}(B^T P + C) + Q = 0$
- $A^T P + PA + (PB + C^T)R^{-1}(B^T P + C) + Q = 0$
- $A^T P + PA + (PB + C^T)R^{-1}(B^T P + C) + Q = 0$
- $A^T P + PA + (PB + C^T)R^{-1}(B^T P + C) + Q = 0$

4. Алгебраическое уравнение Риккати может быть решено:

- при помощи разложения гамильтониана
- Графическим способом
- При помощи уравнения Риккати
- При помощи компьютера



5. В Советском Союзе уравнение Риккати называли:

- Уравнение Лурье
- Уравнение Ляпунова
- Уравнение Якубовича
- Уравнение Калмана

6. Алгебраическое уравнение Риккати не может быть решено точно в конечное число арифметических шагов для систем:

- пятого и выше порядков
- второго порядка
- третьего порядка
- четвертого порядка

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-5

Решить ЛМН с использованием пакета YALMIP:

1.  $A^T X + XA - XBR^{-1}B^T X + \sum_{i=1}^N A_i^T X A_i + Q \leq 0, \quad X > 0,$
2.  $A^T XA - X - A^T XB(B^T XB + R)^{-1}B^T XA + \sum_{i=1}^N A_i^T X A_i + Q \leq 0, \quad X > 0,$
3.  $A_i^T X_i A_i - Y_i - A_i^T X_i B_i (B_i^T X_i B_i + R_i)^{-1} B_i^T X_i A_i + Q_i \leq 0, \quad X_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} Y_j, \quad Y_j \geq 0,$

$$A_i^T X_i + X_i A_i - X_i B_i R_i^{-1} B_i^T X_i + \sum_{j=1}^N \pi_{ij} X_j + Q_i \leq 0, \quad X_i \geq 0$$

### 5.2.4 Вопросы для собеседования

Вопросы для оценки компетенции «УК-1»:

1. Устойчивость по Ляпунову.
2. Метод функций Ляпунова.
3. Устойчивость линейных систем.
4. Неравенство Ляпунова.
5. Диссипативность динамических систем.
6. Функции запаса и накопления. Примеры.
7. Нормализованные функции накопления.
8. Функции требуемого запаса и доступного накопления.
9. Теорема Виллемса о диссипативности динамических систем общего вида.
10. Связь функций накопления с функциями Ляпунова.
11. Линейные системы с квадратичной функцией накопления.
12. Диссипативность линейных систем.
13. Строгая диссипативность линейных систем.
14. Функция диссипации.
15. Лемма Якубовича-Калмана.
16. Лемма о вещественной положительности.
17. Лемма о вещественной ограниченности.

18.  $H_\infty$  - показатель качества линейной системы.
19.  $H_2$  - показатель качества линейной системы.
20. Обобщенный  $H_2$  -показатель линейной системы.
21.  $L_1$  - показатель линейной системы.
22. Диссипативность и пассивность стохастических систем.
23. Линейные системы с неопределенностями.
24. Квадратичная устойчивость.
25. Квадратичная устойчивость линейных систем с аффинными неопределенностями.
26. Квадратичная устойчивость линейных систем с политопными неопределенностями.
27. Аффинная квадратичная устойчивость линейных систем с постоянными неопределенностями.
28. Аффинная квадратичная устойчивость линейных систем с неопределенностями, зависящими от времени.
29. Задачи стабилизации и одновременной стабилизации. Решение задачи стабилизации на основе ЛМН
30. Сведение билинейных матричных неравенств в задачах линейно квадратической стабилизации к ЛМН.
31. Решение нестандартных матричных уравнений в задачах линейно-квадратичной стабилизации на основе вспомогательной задачи выпуклой оптимизации при ограничениях в виде ЛМН.
32. Полуопределенное программирование.
33. Двойственность в задачах полуопределенного программирования.
34. Решение ЛМН как задача полуопределенного программирования.
35. Численные методы решения ЛМН.
36. Метод внутренней точки.
37. Решатели и интерфейсные пакеты для исследования ЛМН (LMI TOOL, SeDuMi, YALMIP и др.)

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Баландин, Д.В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Д.В. Баландин, М.М. Коган. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2007. — 280 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48186>

б) дополнительная литература:

1. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. / Б.Р. Андриевский [и др.]. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. — 608 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48193>

в) 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/>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютерный класс, проектор, экран.

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 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

.

Автор д.ф.-м.н., профессор \_\_\_\_\_ П.В.Пакшин

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Зорин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики  
от 30.11.2022 года, протокол № 3.