

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева»**  
**АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)**

---

---

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

\_\_\_\_\_ Глебов В.В.

« 22 » июня 2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.01 Матричные уравнения и неравенства

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки бакалавров

Направление подготовки 01.03.04 Прикладная математика

(код и направление подготовки)

Направленность Математическое и программное обеспечение систем обработки информации

(наименование профиля, программы магистратуры)

и управления

Форма обучения очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Год начала подготовки 2018

Объем дисциплины 180/5

(часов/з.е)

Промежуточная аттестация экзамен

(экзамен, зачет с оценкой, зачет)

Выпускающая кафедра Прикладная математика

(наименование кафедры)

Кафедра-разработчик Прикладная математика

(наименование кафедры)

Разработчик(и): Емельянова Юлия Павловна, к.ф.м.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

г. Арзамас  
2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 01.03.04 Прикладная математика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 10 января 2018 № 11 на основании учебного плана, принятого Ученым советом АПИ НГТУ, протокол от 09.06.2021 г. № 4

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры-разработчика, протокол от 22.06.2022 № 5/1

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Пакшин П.В.  
(подпись) (ФИО)

Рабочая программа рекомендована к утверждению УМК АПИ НГТУ,  
протокол от 22.06.2021 г. № 15

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ Шурыгин А.Ю.  
(подпись)

Рабочая программа зарегистрирована в учебном отделе № 01.03.04 - 33

Начальник УО \_\_\_\_\_ Мельникова О.Ю.  
(подпись)

Заведующая отделом библиотеки \_\_\_\_\_ Старостина О.Н.  
(подпись)

## Оглавление

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....                                                                                                                                               | 4  |
| 1.1. Цель освоения дисциплины (модуля) .....                                                                                                                                                      | 4  |
| 1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля) .....                                                                                                                                                    | 4  |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....                                                                                                                           | 4  |
| 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....                                                                                                          | 4  |
| 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....                                                                                                                                               | 6  |
| 4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам .....                                                                                                                       | 6  |
| 4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам.....                                                                                                                              | 7  |
| 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....                                                                                           | 8  |
| 5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания.....                                                                                                        | 8  |
| 5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины .....                                                                                                                                    | 13 |
| 5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости .....                       | 13 |
| 5.2.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине .....                            | 14 |
| 5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине .....                                                                                                                                | 15 |
| 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....                                                                                                                                               | 18 |
| 6.1 Основная литература .....                                                                                                                                                                     | 18 |
| 6.2 Дополнительная литература .....                                                                                                                                                               | 18 |
| 6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям .....                                                                                                                       | 18 |
| 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....                                                                                                                                                    | 19 |
| 7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы ..... | 19 |
| 7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины.....                               | 19 |
| 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....                                                                                                                                        | 19 |
| 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ).....                                                                       | 19 |
| 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) 20                                                                                                                      |    |
| 10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии.....                                                                                      | 20 |
| 10.2 Методические указания для занятий лекционного типа .....                                                                                                                                     | 21 |
| 10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах.....                                                                                                                   | 21 |
| 10.4 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся .....                                                                                                                            | 21 |
| 10.5 Методические указания по обеспечению образовательного процесса .....                                                                                                                         | 21 |

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **1.1. Цель освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины «Матричные уравнения и неравенства» является подготовка студентов к выполнению профессиональных задач в рамках трудовой деятельности по профессиональным стандартам 40.011 «Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок» и 06.001 «Программист» в рамках обобщенных трудовых функций «Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по отдельным разделам темы» и «Интеграция программных модулей и компонент и верификация выпусков программного продукта» и изучение основ теории линейных матричных неравенств и техники их применения к задачам анализа и синтеза систем управления.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)**

- решение задач анализа и синтеза систем управления в терминах матричных уравнений и неравенств;
- математическое моделирование систем управления на базе современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP;
- участие во внедрении теоретических результатов исследований при практических разработках;
- составление отчетов по выполненному заданию при решении задач анализа и синтеза систем управления на базе техники матричных уравнений и неравенств;
- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по теории матричных уравнений и неравенств и технике их применения к задачам анализа и синтеза систем управления.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Матричные уравнения и неравенства» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ОП ВО.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Программирование для ЭВМ», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Основы моделирования в Matlab», «Объектно-ориентированное программирование».

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин «Теория управления», «Математические модели неопределенных систем», «Теория навигационных систем», «Преддипломная практика», «Выполнение и защита ВКР».

Рабочая программа дисциплины «Матричные уравнения и неравенства» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Процесс изучения дисциплины «Матричные уравнения и неравенства» направлен на формирование элементов профессиональных компетенций ПКС-1 и ПКС-6 в соответствии с ОП ВО по направлению подготовки 01.03.04 «Прикладная математика».

Таблица 3.1 – Формирование компетенций дисциплинами

| Код компетенции / наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно | Семестры формирования дисциплины                              |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
|                                                                             | Компетенции берутся из УП по направлению подготовки бакалавра |   |   |   |   |   |   |   |
|                                                                             | 1                                                             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| <b>ПКС-1</b>                                                                |                                                               |   |   |   |   |   |   |   |
| Ознакомительная практика                                                    |                                                               | ✓ |   |   |   |   |   |   |
| Вариационное исчисление                                                     |                                                               |   |   |   | ✓ |   |   |   |
| Матричные уравнения и неравенства                                           |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Научно-исследовательская работа                                             |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Вычислительная математика                                                   |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Основы функционального анализа                                              |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Теоретические основы инерциальной навигации                                 |                                                               |   |   |   |   |   | ✓ |   |
| Стохастические дифференциальные системы                                     |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |
| Теория навигационных систем                                                 |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |
| Преддипломная практика                                                      |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |
| Выполнение и защита ВКР                                                     |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |
| <b>ПКС-6</b>                                                                |                                                               |   |   |   |   |   |   |   |
| Матричные уравнения и неравенства                                           |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Компьютерные технологии обучения                                            |                                                               |   |   |   |   | ✓ |   |   |
| Теоретические основы инерциальной навигации                                 |                                                               |   |   |   |   |   | ✓ |   |
| Основы параллельного программирования                                       |                                                               |   |   |   |   |   | ✓ |   |
| Преддипломная практика                                                      |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |
| Выполнение и защита ВКР                                                     |                                                               |   |   |   |   |   |   | ✓ |

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине «Матричные уравнения и неравенства», соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП, представлен в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                 | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                             | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПКС-1<br>Способен формулировать задачу профессиональной деятельности, формализовав ее на основе знаний математического аппарата и естественнонаучных дисциплин | ИПКС-1.2. Формулирует задачи на основе знаний профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин. | <b>Знать:</b><br>- основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теореме о дополнении Шура;<br>- основные показатели качества линейных систем, принятые в современной теории ( $H_\infty$ -показатель, $H_2$ -показатель, $L_1$ -показатель);<br>- методы исследования устойчивости и стабилизации линейных систем с аффинными и политопными неопределенностями с применением ЛМН;<br>- основные определения стохастической устойчивости;<br>- стохастический аналог второго метода Ляпунова;<br>постановку и решение задачи стохастического линейно-квадратичного регулятора. | <b>Уметь:</b><br>- строить политопные и аффинные модели линейных систем с неопределенностями;<br>- строить модели линейных систем со случайными возмущениями параметров и структуры;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН. | <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем |
| ПКС-6<br>Способен изучать научно-                                                                                                                              | ИПКС-6.2. Использует приемы и методы изучения науч-                                                              | <b>Знать:</b><br>- современные программные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Уметь:</b><br>- решать линейные матричные неравен-                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современ-                                                                                                                                                                                              |

| Код и наименование компетенции                                                      | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                    | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| техническую информацию, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования | но-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования. | решения задач полуопределенного программирования;<br>- методы решения нестандартных матричных уравнений в задачах стохастического управления на основе выпуклой оптимизации и ЛМН | ства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования;<br>- решать нестандартные матричные уравнения в стохастических задачах анализа и синтеза на основе алгоритма оптимизации при ограничениях в виде ЛМН;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН. | ных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. ед. или 180 часов, распределение часов по видам работ по семестрам представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам для студентов очной формы обучения

| Вид учебной работы                                                                                                                                                                                              | Трудоемкость в час                               |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
|                                                                                                                                                                                                                 | Всего час.                                       | В т.ч. по семестрам |
| Формат изучения дисциплины                                                                                                                                                                                      | с использованием элементов электронного обучения |                     |
| <b>Общая трудоемкость</b> дисциплины по учебному плану                                                                                                                                                          | <b>180</b>                                       | <b>180</b>          |
| <b>1. Контактная работа:</b>                                                                                                                                                                                    | <b>70</b>                                        | <b>70</b>           |
| <b>1.1. Аудиторная работа, в том числе:</b>                                                                                                                                                                     | <b>64</b>                                        | <b>64</b>           |
| занятия лекционного типа (Л)                                                                                                                                                                                    | 32                                               | 32                  |
| занятия семинарского типа (ПЗ – семинары, практические занятия и др.)                                                                                                                                           |                                                  |                     |
| лабораторные работы (ЛР)                                                                                                                                                                                        | 32                                               | 32                  |
| <b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>                                                                                                                                                                          | <b>6</b>                                         | <b>6</b>            |
| курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)                                                                                                                                                         |                                                  |                     |
| текущий контроль, консультации по дисциплине                                                                                                                                                                    | 4                                                | 4                   |
| контактная работа на промежуточном контроле (КРА)                                                                                                                                                               | 2                                                | 2                   |
| <b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>                                                                                                                                                                          | <b>110</b>                                       | <b>110</b>          |
| реферат/эссе (подготовка)                                                                                                                                                                                       |                                                  |                     |
| расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)                                                                                                                                                                  |                                                  |                     |
| контрольная работа                                                                                                                                                                                              |                                                  |                     |
| курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)                                                                                                                                                                     |                                                  |                     |
| самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.) | 74                                               | 74                  |
| Подготовка к экзамену (контроль)*                                                                                                                                                                               | 36                                               | 36                  |
| Подготовка к зачету / зачету с оценкой (контроль)                                                                                                                                                               |                                                  |                     |

## 4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам

Таблица 4.2 – Содержание дисциплины, структурированное по темам, для студентов очной формы обучения

| Планируемые<br>(контролируемые)<br>результаты<br>освоения: код УК;<br>ОПК; ПК и инди-<br>каторы достиже-<br>ния компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                   | Виды учебной работы<br>(час) |                        |                         |                                     | Вид СРС                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             |                                                                                                              | Контактная<br>работа         |                        |                         | Самостоятельная<br>работа студентов |                                                                                               |
|                                                                                                                             |                                                                                                              | Лекции                       | Лабораторные<br>работы | Практические<br>занятия |                                     |                                                                                               |
| 6 семестр                                                                                                                   |                                                                                                              |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
| ПКС-1<br>ИПКС-1.2<br><br>ПКС-6<br>ИПКС-6.2                                                                                  | Раздел 1. ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ. УРАВНЕНИЕ И НЕРАВЕНСТВО ЛЯПУНОВА                                    |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 1.1 Теорема об экспоненциальной устойчивости                                                            | 1                            |                        |                         | 6                                   | Подготовка к лекциям<br>[6.1.1]-[6.1.3],<br>[6.3.1], [6.3.2]                                  |
|                                                                                                                             | Тема 1.2 Уравнение и неравенство Ляпунова                                                                    | 2                            |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 1.3 Квадратичная функция Ляпунова                                                                       | 1                            |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Лабораторная работа №1.Основные функции пакета Yalmip для решения задач полуопределенного програм- мирования |                              | 4                      |                         | 6                                   | Подготовка к лабораторным занятиям<br>[6.1.1], [6.2.1],<br>[6.3.2], [6.3.3],<br>[6.3.4]       |
|                                                                                                                             | Итого по 1 разделу                                                                                           | 4                            | 4                      | -                       | 12                                  |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Раздел 2. ЛИНЕЙНЫЕ МАТРИЧНЫЕ НЕРАВЕНСТВА                                                                     |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 2.1. Понятие линейного матричного неравенства                                                           | 1                            |                        |                         | 4                                   | Подготовка к лекциям<br>[6.1.1]-[6.1.4],<br>[6.2.2], [6.3.1],<br>[6.3.2], [6.3.7],<br>[6.3.8] |
|                                                                                                                             | Тема 2.2. Лемма о дополнении Шура                                                                            | 1                            |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 2.3. Примеры задач, сводящихся к решению ЛМН                                                            | 2                            |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Лабораторная работа 2. Решение матричных уравнений в пакете Yalmip                                           |                              | 4                      |                         | 8                                   | Подготовка к лабораторным занятиям<br>[6.1.1], [6.2.1],<br>[6.3.2], [6.3.3],<br>[6.3.4]       |
|                                                                                                                             | Лабораторная работа 3. Решение матричных неравенств в пакете Yalmip                                          |                              | 4                      |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Итого по 2 разделу                                                                                           | 4                            | 8                      |                         | 12                                  |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Раздел 3. ЭЛЕМЕНТЫ ВЫПУКЛОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ЛИНЕЙНЫЕ МАТРИЧНЫЕ НЕРАВЕНСТВА                                     |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 3.1. Выпуклые множества и выпуклые функции                                                              |                              |                        |                         | 12                                  | Подготовка к лекциям<br>[6.1.1]-[6.1.3],<br>[6.3.1], [6.3.2]                                  |
|                                                                                                                             | Тема 3.2. Выпуклая оптимизация                                                                               |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 3.3. Численные методы исследования линейных матричных неравенств                                        |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Итого по 3 разделу                                                                                           | 4                            | -                      | -                       | 12                                  |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Раздел 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ                                                  |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 4.1. Робастная устойчивость систем с неопреде- ленными параметрами.                                     |                              |                        |                         | 4                                   | Подготовка к лекциям<br>[6.1.1]-[6.1.3],<br>[6.3.1], [6.3.2],<br>[6.3.5], [6.3.6]             |
|                                                                                                                             | Тема 4.2. Описание моделей параметрических неопреде- ленностей                                               |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 4.3. Квадратичная устойчивость                                                                          |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Тема 4.4. Аффинная квадратичная устойчивость                                                                 |                              |                        |                         |                                     |                                                                                               |
|                                                                                                                             | Лабораторная работа 6. Исследование квадратичной ус- тойчивости системы с неопределенными параметрами        |                              | 4                      |                         | 8                                   | Подготовка к лабораторным занятиям<br>[6.1.1], [6.3.3]                                        |
|                                                                                                                             | Итого по 4 разделу                                                                                           | 8                            | 4                      | -                       | 12                                  |                                                                                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                       |             |          |           |                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 5. РОБАСТНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                       |             |          |           |                                                                          |
| Тема 5.1. Задача оптимальной стабилизации<br>Тема 5.2. Решение задачи о линейно-квадратичном регуляторе с помощью линейных матричных неравенств<br>Тема 5.3. Робастная стабилизация с использованием статической обратной связи по выходу                                                 |                       |             |          | 4         | Подготовка к лекциям [6.1.1]-[6.1.3], [6.3.1], [6.3.2], [6.3.5], [6.3.6] |
| Лабораторная работа 4. Решение задач стабилизации по состоянию и по выходу на основе линейных матричных неравенств<br>Лабораторная работа 5. Решение задачи о линейно-квадратичном регуляторе                                                                                             |                       | 4           |          | 8         | Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.1], [6.2.1], [6.3.3]             |
| <b>Итого по 5 разделу</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>8</b>              | <b>8</b>    | <b>-</b> | <b>12</b> |                                                                          |
| <b>Раздел 6. ДИССИПАТИВНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                       |                       |             |          |           |                                                                          |
| Тема 6.1. Определение и примеры<br>Тема 6.2. Основная теорема о диссипативности<br>Тема 6.3. Линейные диссипативные системы с квадратичной функцией запаса<br>Тема 6.4. Показатели качества<br>Тема 6.5. Применение теории диссипативности к синтезу стабилизирующих уравнений            | 1<br>1<br>1<br>4<br>1 |             |          | 4         | Подготовка к лекциям [6.1.1]-[6.1.3], [6.3.1], [6.3.2], [6.3.5]          |
| Лабораторная работа 7. Оценка показателей качества линейных систем. $H_\infty$ и $L_1$ показатели качества<br>Лабораторная работа 8. Оценка показателей качества линейных систем. $H_2$ и обобщенный $H_2$ показатели качества<br>Лабораторная работа 9. Синтез на основе диссипативности |                       | 4<br>4<br>4 |          | 10        | Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.1], [6.3.3]                      |
| <b>Итого по 6 разделу</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>8</b>              | <b>12</b>   | <b>-</b> | <b>14</b> |                                                                          |

Используемые активные и интерактивные технологии приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Используемые активные и интерактивные образовательные технологии

| Вид занятий         | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекции              | Технология развития критического мышления                                                             |
| Лабораторные работы | Технология развития критического мышления<br>Тестовые технологии<br>Технологии работы в малых группах |

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Критерии оценивания результатов обучения и процедуры оценивания компетенций, формируемых в рамках данной дисциплины, приводятся в табл. 5.4.

Оценочные процедуры в рамках текущего контроля проводятся преподавателем дисциплины. На лекциях оценивается активность участия в дискуссионных обсуждениях. Лабораторные занятия проводятся в форме выполнения индивидуальных заданий. При выполнении индивидуального лабораторного задания преподавателем оценивается качество выполненного задания, срок его выполнения, качество и срок оформления отчета, ответы на вопросы преподавателя.

Самостоятельная работа включает выполнение самостоятельных заданий в форме индивидуальных заданий (оформление отчетов по лабораторным работам, подготовка в защите лабораторной работы).

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.1 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                 | Код и наименование индикатора компетенции                                                                                                 | Показатели контроля успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Критерии и шкала оценивания                                   |                                                      | Форма контроля                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0 баллов                                                      | 1 баллов                                             |                                                          |
| ПКС-1<br>Способен формулировать задачу профессиональной деятельности, формализовав ее на основе знаний математического аппарата и естественнонаучных дисциплин | ИПКС-1.2. Формулирует задачи на основе знаний профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин.                          | <b>Знать:</b><br>- основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теореме о дополнении Шура;<br>- основные показатели качества линейных систем, принятые в современной теории ( $H_{\infty}$ - показатель, $H_2$ - показатель, $L_1$ - показатель);<br>- методы исследования устойчивости и стабилизации линейных систем с аффинными и политопными неопределенностями с применением ЛМН;<br>- основные определения стохастической устойчивости;<br>- стохастический аналог второго метода Ляпунова;<br>постановку и решение задачи стохастического линейно-квадратичного регулятора. | Теоретический материал не изучен или изучен частично.         | Теоретический материал изучен.                       | Контроль участия в дискуссиях на лекциях                 |
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                           | <b>Уметь:</b><br>- строить политопные и аффинные модели линейных систем с неопределенностями;<br>- строить модели линейных систем со случайными возмущениями параметров и структуры;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Лабораторные задания не выполнены или выполнены частично.     | Лабораторные задания выполнены полностью.            | Контроль выполнения лабораторных заданий (см. табл. 4.2) |
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                           | <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Лабораторные задания выполнены некачественно и/или не в срок. | Лабораторные задания выполнены качественно и в срок. | Контроль выполнения лабораторных заданий (см. табл. 4.2) |
| ПКС-6<br>Способен изучать научно-техническую информацию, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования                                           | ИПКС-6.2. Использует приемы и методы изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования. | <b>Знать:</b><br>- современные программные средства решения задач полуопределенного программирования;<br>- методы решения нестандартных матричных уравнений в задачах стохастического управления на основе выпуклой оптимизации и ЛМН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Теоретический материал не изучен или изучен частично.         | Теоретический материал изучен.                       | Контроль участия в дискуссиях на лекциях                 |
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                           | <b>Уметь:</b><br>- решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств реше-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Лабораторные задания не выполнены или выполнены частично.     | Лабораторные задания выполнены полностью.            | Контроль выполнения лабораторных                         |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора компетенции | Показатели контроля успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                                     | Критерии и шкала оценивания                                   |                                                      | Форма контроля                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0 баллов                                                      | 1 баллов                                             |                                                          |
|                                |                                           | ния задач полуопределенного программирования;<br>- решать нестандартные матричные уравнения в стохастических задачах анализа и синтеза на основе алгоритма оптимизации при ограничениях в виде ЛМН;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН. |                                                               |                                                      | заданий (см. табл. 4.2)                                  |
|                                |                                           | <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем                                                      | Лабораторные задания выполнены некачественно и/или не в срок. | Лабораторные задания выполнены качественно и в срок. | Контроль выполнения лабораторных заданий (см. табл. 4.2) |

Таблица 5.2 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (экзамен)

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                 | Код и наименование индикатора компетенции                                                                        | Показатели контроля успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Критерии и шкала оценивания |                                       |                                         | Форма контроля                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0 баллов                    | 1 балл                                | 2 балла                                 |                                      |
| ПКС-1<br>Способен формулировать задачу профессиональной деятельности, формализовав ее на основе знаний математического аппарата и естественнонаучных дисциплин | ИПКС-1.2. Формулирует задачи на основе знаний профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин. | <b>Знать:</b><br>- основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теорему о дополнении Шура;<br>- основные показатели качества линейных систем, принятые в современной теории ( $H_\infty$ - показатель, $H_2$ - показатель, $L_1$ - показатель);<br>- методы исследования устойчивости и стабилизации линейных систем с аффинными и политопными неопределенностями с применением ЛМН;<br>- основные определения стохастической устойчивости;<br>- стохастический аналог второго метода Ляпунова;<br>- постановку и решение задачи стохастического линейно-квадратичного регулятора. | Ответ на вопрос отсутствует | Представлен не полный ответ на вопрос | Представлен развернутый ответ на вопрос | Ответ на теоретический вопрос билета |
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Ответ на вопрос отсутствует | Представлен не полный ответ на вопрос | Представлен развернутый ответ на вопрос | Ответы на дополнительные вопросы     |
|                                                                                                                                                                |                                                                                                                  | <b>Уметь:</b><br>- строить политопные и аффинные модели линейных систем с неопределенностями;<br>- строить модели линейных систем со случайными возмущениями параметров и структуры;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН.<br><b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем                                                             | Задание не решено           | Задание решено с ошибками             | Задание решено верно                    | Решение задач билета                 |

| Код и наименование компетенции                                                                                       | Код и наименование индикатора компетенции                                                                                                 | Показатели контроля успеваемости                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Критерии и шкала оценивания |                                       |                                         | Форма контроля                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0 баллов                    | 1 балл                                | 2 балла                                 |                                      |
| ПКС-6<br>Способен изучать научно-техническую информацию, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования | ИПКС-6.2. Использует приемы и методы изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования. | <b>Знать:</b><br>- современные программные средства решения задач полуопределенного программирования;<br>- методы решения нестандартных матричных уравнений в задачах стохастического управления на основе выпуклой оптимизации и ЛМН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ответ на вопрос отсутствует | Представлен не полный ответ на вопрос | Представлен развернутый ответ на вопрос | Ответ на теоретический вопрос билета |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ответ на вопрос отсутствует | Представлен не полный ответ на вопрос | Представлен развернутый ответ на вопрос | Ответы на дополнительные вопросы     |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                           | <b>Уметь:</b><br>- решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования;<br>- решать нестандартные матричные уравнения в стохастических задачах анализа и синтеза на основе алгоритма оптимизации при ограничениях в виде ЛМН;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН.<br><b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем | Задание не решено           | Задание решено с ошибками             | Задание решено верно                    | Решение задач билета                 |

Таблица 5.3 – Соответствие набранных баллов и оценки за промежуточную аттестацию

| Баллы за текущую успеваемость* | Баллы за промежуточную аттестацию |                          | Оценка                |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
|                                | Суммарное количество баллов**     | Баллы за решение задач** |                       |
| 0                              | 0-1                               | 0-1                      | «неудовлетворительно» |
| 1                              | 1                                 | 1                        | «удовлетворительно»   |
| 1                              | 1-2                               | 1-2                      | «хорошо»              |
| 1                              | 2                                 | 2                        | «отлично»             |

\*) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.1.

\*\*) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.2.

## 5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины

### 5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

#### Типовые задания для лабораторных работ

Лабораторная работа 4. Решение задач стабилизации по состоянию и по выходу на основе линейных матричных неравенств

Цель работы: решить задачи стабилизации по состоянию и по выходу на основе линейных матричных неравенств в пакете Yalmip.

Постановка задачи. Дана система

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$z = Cx.$$

Решить задачу стабилизации по состоянию и по выходу.

Проверить полученные результаты.

Исходные данные:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -56 & -0,66 & 55 \\ 0,84 & 0 & -0,84 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 22,5 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрицы параметров системы выбираются по вариантам.

#### Типовые вопросы для устного опроса по лабораторным работам

1. Какая функция пакета Yalmip позволяет задавать ограничения?
2. Опишите решение уравнения Ляпунова на основе LMI оптимизации.
3. Какие стандартные функции MATLAB существуют для решения дискретного неравенства Ляпунова?
4. Опишите процесс сведения неравенства Риккати к линейному неравенству.
5. Как решалась задача стабилизации по состоянию? По какому принципу выбирались весовые матрицы?
6. Опишите процесс синтеза линейно-квадратичного регулятора в рассматриваемом примере
7. Как программно в Matlab задавался разброс неопределенных параметров?
8. Как для заданных неопределенностей проверить выполняется ли для системы условие квадратичной устойчивости проверить?
9. Какой физический смысл имеет  $L_1$  показатель качества линейной системы?
10. Как осуществлялся процесс анализа и синтеза диссипативной системы?

## 5.2.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: *экзамен*. Проведение в *устно-письменной форме по экзаменационным билетам*.

### Перечень вопросов к экзамену (ПКС-1, ИПКС-1.2, ИПКС-6, ИПКС-6.2):

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.
4. Теорема Шура о дополнении.
5. Численные методы решения ЛМН. Метод внутренней точки.
6. Решатели и интерфейсные пакеты для исследования ЛМН.
7. Пакет YALMIP.
8. Устойчивость по Ляпунову. Метод функций Ляпунова.
9. Устойчивость линейных систем. Матричное неравенство Ляпунова.
10. Диссипативность динамических систем. Функции запаса и накопления.
11. Теорема Виллемса о диссипативности динамических систем общего вида.
12. Диссипативность линейных систем. Формулировка в терминах ЛМН.
13. Лемма о вещественной положительности.
14. Лемма о вещественной ограниченности.
15. Нахождение  $H_\infty$  показателя на основе ЛМН.
16. Нахождение  $H_2$  показателя на основе ЛМН.
17. Нахождение обобщенного  $H_2$  показателя на основе ЛМН.
18. Нахождение  $L_1$  показателя на основе ЛМН.
19. Исследование квадратичной устойчивости линейных систем с аффинными и полиномиальными неопределенностями на основе ЛМН.
20. Исследование аффинной квадратичной устойчивости линейных систем с неопределенностями, зависящими от времени на основе ЛМН.
21. Задачи стабилизации и одновременной стабилизации. Решение задачи стабилизации на основе ЛМН.
22. Сведение билинейных матричных неравенств в задачах линейно-квадратичной стабилизации к ЛМН.
23. Решение нестандартных матричных уравнений в задачах линейно-квадратичной стабилизации на основе вспомогательной задачи выпуклой оптимизации при ограничениях в виде ЛМН.

### Перечень типовых практических заданий к экзамену (ПКС-1, ИПКС-1.2, ИПКС-6, ИПКС-6.2):

Свести квадратные матричные неравенства к линейным:

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

### **5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине**

Процедура оценивания формируемых в рамках дисциплины компетенций (элементов компетенций) состоит из следующих этапов:

1. Текущий контроль (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1, задания в п. 5.2.1).
2. Промежуточная аттестация (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации представлены в табл. 5.2, задания в п. 5.2.2).

Для всего перечня формируемых компетенций (элементов компетенций) дисциплины проводится процедура оценки результатов обучения (табл. 5.4).

Таблицы 5.4 – Процедура, критерии и методы оценивания результатов обучения

| Планируемые результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Критерии оценивания результатов                           |                                                                    |                                                                           |                                                                                                                 | Методы оценивания                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1 критерий – отсутствие усвоения<br>«неудовлетворительно» | 2 критерий – не полное усвоение<br>«удовлетворительно»             | 3 критерий – хорошее усвоение «хорошо»                                    | 4 критерий – отличное усвоение «отлично»                                                                        |                                    |
| ПКС-1<br>ИПКС-1.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                           |                                                                    |                                                                           |                                                                                                                 |                                    |
| <b>Знать:</b><br>- основные положения теории линейных матричных неравенств (ЛМН), теорему о дополнении Шура;<br>- основные показатели качества линейных систем, принятые в современной теории ( $H_\infty$ - показатель, $H_2$ - показатель, $L_1$ - показатель);<br>- методы исследования устойчивости и стабилизации линейных систем с аффинными и полиномиальными неопределенностями с применением ЛМН;<br>- основные определения стохастической устойчивости;<br>- стохастический аналог второго метода Ляпунова;<br>- постановку и решение задачи стохастического линейно-квадратичного регулятора. | Отсутствие усвоения знаний                                | Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания | На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания | Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность | Промежуточная аттестация           |
| <b>Уметь:</b><br>- решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования;<br>- решать нестандартные матричные уравнения в стохастических задачах анализа и синтеза на основе алгоритма оптимизации при ограничениях в виде ЛМН;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН.                                                                                                                                                                                          | Не демонстрирует умения                                   | Не уверенно демонстрирует умения                                   | Достаточно уверенно демонстрирует умения                                  | Отлично демонстрирует умения                                                                                    | Выполнение ЛР<br>Отчет и защита ЛР |
| <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Не демонстрирует навыки                                   | Не уверенно демонстрирует навыки                                   | Достаточно уверенно демонстрирует навыки                                  | Отлично демонстрирует самостоятельные навыки                                                                    | Выполнение ЛР<br>Отчет и защита ЛР |

| Планируемые результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Критерии оценивания результатов                           |                                                                    |                                                                           |                                                                                                                 | Методы оценивания                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1 критерий – отсутствие усвоения<br>«неудовлетворительно» | 2 критерий – не полное усвоение<br>«удовлетворительно»             | 3 критерий – хорошее усвоение «хорошо»                                    | 4 критерий – отличное усвоение «отлично»                                                                        |                                    |
| ПКС-6<br>ИПКС-6.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                           |                                                                    |                                                                           |                                                                                                                 |                                    |
| <b>Знать:</b><br>- современные программные средства решения задач полуопределенного программирования;<br>- методы решения нестандартных матричных уравнений в задачах стохастического управления на основе выпуклой оптимизации и ЛМН                                                                                                                                                                           | Отсутствие усвоения знаний                                | Недостаточно уверенно понимает и может объяснить полученные знания | На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания | Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность | Промежуточная аттестация           |
| <b>Уметь:</b><br>- решать линейные матричные неравенства с применением современных программных средств решения задач полуопределенного программирования;<br>- решать нестандартные матричные уравнения в стохастических задачах анализа и синтеза на основе алгоритма оптимизации при ограничениях в виде ЛМН;<br>- решать задачи стохастической и робастной устойчивости и стабилизации на основе техники ЛМН. | Не демонстрирует умения                                   | Не уверенно демонстрирует умения                                   | Достаточно уверенно демонстрирует умения                                  | Отлично демонстрирует умения                                                                                    | Выполнение ЛР<br>Отчет и защита ЛР |
| <b>Владеть:</b><br>- навыками применения современных программных средств, в первую очередь пакета полуопределенного программирования SeDuMi и интерфейсного пакета YALMIP для решения задач анализа и синтеза робастных и стохастических систем                                                                                                                                                                 | Не демонстрирует навыки                                   | Не уверенно демонстрирует навыки                                   | Достаточно уверенно демонстрирует навыки                                  | Отлично демонстрирует самостоятельные навыки                                                                    | Выполнение ЛР<br>Отчет и защита ЛР |

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Основная литература

6.1.1. Емельянова Ю.П., Пакшин П.В. Матричные уравнения и неравенства в задачах теории управления: учеб. пособие / Ю.П. Емельянова, П.В. Пакшин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2020. – 125 с. - ISBN 978-5-502-01331-4. — 40 шт.

6.1.2. 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. - ISBN 978-5-9221-0780-8. — 12 шт.

6.1.3. Баландин Д.В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств [Электронный ресурс]/ Баландин Д.В., Коган М.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.— 280 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24636>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю

6.1.4. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства [Электронный ресурс]/ Б.Р. Андриевский [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.— 607 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17361>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю

### 6.2 Дополнительная литература

6.2.1 Емельянова Ю.П., Пакшин П.В., Пакшина Н.А. Матричные уравнения и неравенства: учеб. пособие для студентов и магистрантов, изучающих курсы «Матричные уравнения и неравенства» и «Современная теория управления» / Ю.П. Емельянова, П.В. Пакшин, Н.А. Пакшина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. – 118 с. - ISBN 978-5-502-00390-2. — 20 шт.

6.2.2 Лизунова Н.А. Матрицы и системы линейных уравнений [Электронный ресурс]/ Лизунова Н.А., Шкроба С.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.— 350 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12904>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

### 6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

6.3.1 Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств. – М.: ДЕНАНД, 2014. – 560 с.

6.3.2 Чурилов А.Н., Гессен А.В. Исследование линейных матричных неравенств. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2004. -30 шт.

6.3.3 Пакшин П.В. Матричные уравнения и неравенства: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Матричные уравнения и неравенства» специальности 230401.65 и направления подготовки 230400.62 очной формы обучения / АПИ (филиал) НГТУ; сост.: Пакшин П.В., - Арзамас: ОО «Ассоциация ученых» г. Арзамаса, 2011. – 33 с. – 47 шт.

6.3.4 YALMIP Wiki <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>

6.3.5 Журнал «Автоматика и телемеханика» ISSN 0005-2310

6.3.6 Scherer C., Weiland S. LMIs in Control, Lecture Notes at Delft University of Technology and Eindhoven University of Technology, 2005. — <http://www.dcsc.tudelft.nl/%7Ecscherer/2416/lmi05.pdf>

6.3.7 Электронный учебник «История LMI». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/public/4tkQ/kWPUZP1kP>

6.3.8 Электронный учебник «Основоположники LMI». [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://cloud.mail.ru/public/scV6/pfBkAxWYZ>

Литература данного раздела рекомендована заседанием кафедры «Прикладная математика» АПИ НГТУ, протокол №4 от 29.04.2021 г.

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы

7.1.1 Электронно-библиотечная система издательства «IPRbooks». Режим доступа: [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru).

7.1.2 Электронно-библиотечная система издательства «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com>

### 7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины

7.2.2 лицензионное программное обеспечение - пакет Matlab

7.2.3 свободно распространяемое программное обеспечение - пакет YALMIP, решатель SeDuMi

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 8.1 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования.

Таблица 8.1 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

| Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ | Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ЭБС «IPRbooks»                                                                                 | Специальное мобильное приложение <b>IPR BOOKS WV-Reader</b>                                             |
| ЭБС «Лань»                                                                                     | Синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации                                     |

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине (модулю), оснащены оборудованием и техническими средствами обучения.

В таблице 9.1 перечислены:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду АПИ НГТУ.

Таблица 9.1 – Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы студентов по дисциплине (модулю)

| Наименование аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы | Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>320</b> - Учебная мультимедийная аудитория<br>г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19  | 1. Доска магнитно-маркерная;<br>2. Мультимедийный проектор BENQ;<br>. Экран;<br>4. Компьютеры PC Intel® Core™ i3-10100/256SSD/8RAM - 14 шт;<br>5. Посадочных мест - 34 |
| <b>316</b> - Кабинет самоподготовки студентов<br>г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19  | рабочих мест студента – 26 шт;<br>ПК, с выходом на телевизор LG - 1 шт.<br>ПК с подключением к интернету -5шт.                                                         |

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа проводится в аудиторной и внеаудиторной форме, а также в электронной информационно-образовательной среде института (далее – ЭИОС). В случае проведения части контактной работы по дисциплине в ЭИОС (в соответствии с расписанием учебных занятий), трудоемкость контактной работа в ЭИОС эквивалентна аудиторной работе.

При преподавании дисциплины используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Весь лекционный материал курса, а также материалы для практических занятий находятся в свободном доступе в СДО MOODLE на странице курса по адресу: <https://sdo.api.nntu.ru/course> и могут быть проработаны студентами до чтения лекций в ходе самостоятельной работы. Это дает возможность обсудить материал со студентами во время чтения лекций, активировать их деятельность при освоении материала.

На лекциях и практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется лично-ориентированный подход, дискуссионные технологии, технологии работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч со студентами, так и современных информационных технологий, таких как форум, чат, внутренняя электронная почта СДО MOODLE.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента.

Для оценки знаний, умений и уровня сформированности компетенции в процессе текущего контроля применяется система контроля и оценки успеваемости студентов, представленная в табл. 5.1. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с использованием системы контроля и оценки успеваемости студентов, представленной в табл. 5.2.

## **10.2 Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины. Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложных и важных положениях изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

## **10.4 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

В процессе самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение основной учебной и справочно-библиографической литературы, представленной в разделе 6.

Для выполнения самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут использовать специализированные аудитории (см. табл. 9.1), оборудование которых обеспечивает доступ через «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде института и электронной библиотечной системе, где располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы.

## **10.5 Методические указания по обеспечению образовательного процесса**

1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес:

[https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org\\_structura/upravleniya/umu/docs/metod\\_docs\\_ngtu/metod\\_rekom\\_auditorii.PDF](https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_auditorii.PDF).

2. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес: [https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org\\_structura/upravleniya/umu/docs/metod\\_docs\\_ngtu/metod\\_rekom\\_srs.PDF](https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_srs.PDF).

3. Учебное пособие «Проведение занятий с применением интерактивных форм и методов обучения», Ермакова Т.И., Ивашкин Е.Г., 2013 г. Электронный адрес: [https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org\\_structura/upravleniya/umu/docs/metod\\_docs\\_ngtu/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf](https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf).

4. Учебное пособие «Организация аудиторной работы в образовательных организациях высшего образования», Ивашкин Е.Г., Жукова Л.П., 2014 г. Электронный адрес: [https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org\\_structura/upravleniya/umu/docs/metod\\_docs\\_ngtu/organizaciya-auditornoj-raboty.pdf](https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/organizaciya-auditornoj-raboty.pdf).

**Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины**  
**на 20 \_\_\_\_/20 \_\_\_\_ уч. г.**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

Глебов В.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

1)

2)

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры, протокол от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (ФИО)

Утверждено УМК АПИ НГТУ, протокол от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_  
(подпись) Шурыгин А.Ю.

Согласовано:

Начальник УО \_\_\_\_\_  
(подпись) Мельникова О.Ю.

(в случае, если изменения касаются литературы):

Заведующая отделом библиотеки \_\_\_\_\_  
(подпись) Старостина О.Н.