**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретическая кибернетика

Theoretical Cybernetics

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 051784

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Ознакомление обучающихся с основными принципами кибернетики, развитие у учащихся доказательного, логического мышления; подготовка к восприятию других математических дисциплин. Уметь использовать методы и инструментальные средства исследования объектов профессиональной деятельности. В задачи дисциплины входит демонстрация основных понятий кибернетики, ее математических основ, а также базовых прикладных аспектов кибернетики.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Для освоения дисциплины учащийся должен обладать начальными навыками доказательного мышления, а также знаниями линейной алгебры и математического анализа в объеме, предусмотренном программой 1-2 курсов обучения на математико-механическом факультете СПбГУ.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

Обучающиеся, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

• знать и понимать содержание курса теоретической кибернетики, иметь представление о возможностях применения кибернетических методов в различных теоретических и прикладных областях;

• свободно владеть материалом, уметь связывать между собой понятия и факты из различных частей изучаемого курса;

• освоить методы, излагаемые в изучаемом курсе: построение математических моделей, вывод необходимых условий оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина, использование принципа максимума и достаточных условий оптимальности для решения оптимизационных задач, метод динамического программирования, методы линейно-квадратичной оптимизации, построение оптимальных фильтров и т.д.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

В курсе классические аудиторные методы сочетают лекции и практические занятия. Наряду с этим в рамках самостоятельной работы предусматривается внеаудиторное освоение материала с использованием учебников и учебных пособий.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 6 | 30 |  | 2 | 30 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 12 |  | 32 |  | 20 | 3 |
|  | 2-100 |  | 2-100 | 10-25 |  |  |  |  | 2-100 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 30 |  | 2 | 30 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 12 |  | 32 |  |  | 3 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 6 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

**Модуль 1.** Математические модели систем управления и основные принципы управления (2 часа лекций, 6 часов семинарских занятий, 7 часов самост. работы) Понятие объекта управления. Основные цели управления. Принцип разомкнутого управления. Управление по принципу обратной связи. Задачи синтеза системы управления. Характеристики системы: устойчивость, робастность, оптимальность. Математические модели систем управления. Формальное определение системы (объекта управления). Стационарные системы. Линейные системы. Функциональная модель ("вход-выход"). Каноническая модель в пространстве состояний. Переход от канонической модели к функциональной. Переход от функциональной модели к канонической.

**Модуль 2.** Математические методы исследования систем управления с непрерывной моделью времени (2 часа лекций, 10 часов семинарских занятий, 8 часов самост. работы) Преобразование Лапласа. Передаточная функция линейной стационарной системы. Вычисление передаточной функции. Управляемость и наблюдаемость конечномерных канонических систем. Теорема двойственности. Устойчивость и стабилизируемость. Основная теорема о внешней устойчивости ЛСС. Стабилизируемость, синтез стабилизирующей обратной связи от состояния к управлению. Перемещение собственных чисел. Лемма Шура. Лемма о перестановке. Лемма Хейнмана. Теорема о стабилизации. Стабилизируемость по выходу. Синтез обратной связи. Детектируемость, теорема о детекции. Построение обратной связи по выходу с помощью наблюдателя. Теорема о стабилизируемости по выходу. Невырожденность передаточных функций. Стабилизация по выходу для функциональных моделей.

**Модуль 3.** Математические методы исследования систем управления с дискретной моделью времени (2 часа лекций, 8 часов семинарских занятий, 8 часов самост. работы) Дискретные системы. Z-преобразование. Передаточные функции. Оптимальное управление дискретными минимально-фазовыми объектами с нерегулярным возмущением, с запаздыванием, с устойчивым многочленом при возмущении. Динамическое программирование. Линейно-квадратичная оптимальное управление. Дискретизация конечномерных ЛСС. Наследование свойств в пространстве состояний.

Дискретизация функциональных ("вход-выход") моделей. Наследование невырожденности. Асимптотика нулей передаточной функции. Наследование минимальной фазовости.

**Модуль 4.** Оптимальное управление и стабилизация систем с непрерывной моделью времени (2 часа лекций, 10 часов семинарских занятий, 8 часов самост. работы) Оптимальное управление непрерывными минимально-фазовыми объектами с нерегулярным возмущением, с запаздыванием и без. Принцип максимума Понтрягина.

Бесконечномерные модели. Полугруппы. Стабилизируемость бесконечномерных объектов по состоянию. Стабилизируемость по выходу и невырожденность передаточных функций непрерывных объектов. Дискретизация бесконечномерных систем. Стабилизируемость и невырожденность бесконечномерных систем. Наследование невырожденности и стабилизация бесконечномерных систем. Теорема о малом коэффициенте.

Лемма Ляпунова. Грамианы. Редукция компонент, соответствующих нулевым диагональным блокам грамиана управляемости и грамиана наблюдаемости. Теорема об одновременном приведении. Кронекеровские произведение и сумма. Уравнение Сильвестра.

**Модуль 5.** Управление нелинейными системами ( 2 часа лекций, 8 часов семинарских занятий, 8 часов сам. работы) "Полулинейная" теорема о малом коэффициенте. Круговой критерий. Постановка задач управления для нелинейных систем. Линейные системы и линеаризация. Синтез через линеаризацию. Стабилизация по выходу через линеаризацию. Интегрирующая обратная связь. Линеаризация "вход-состояние". Обратные связи по состоянию. Интегрирующая обратная связь. Линеаризация "вход-выход". Backstepping.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Перечень примерных вопросов для самостоятельной работы обучающихся:

1. Принцип разомкнутого управления. Управление по принципу обратной связи. Задачи синтеза системы управления.
2. Управляемость и наблюдаемость конечномерных канонических систем. Теорема двойственности.
3. Лемма Шура. Лемма Хейнмана.
4. Дискретизация конечномерных линейных систем управления. Дискретизация функциональных ("вход-выход") моделей.
5. Стабилизируемость по выходу и невырожденность передаточных функций непрерывных объектов.
6. Линейные системы и линеаризация. Синтез через линеаризацию.
7. Круговой критерий.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Методика проведения экзамена

Экзамен проводится в устной форме. Билет состоит из двух вопросов. Время подготовки ответа на вопросы билета составляет 60 минут.

Использование конспектов и учебников, а также электронных устройств хранения, обработки или передачи информации при подготовке и ответе на вопросы экзамена категорически запрещено. В случае обнаружения факта использования недозволенных материалов (устройств) составляется акт и студент удаляется с экзамена. После ответа на вопросы билета преподаватель задает несколько дополнительных вопросов, на основании оценки ответов на которые итоговая оценка по предмету может быть повышена или понижена.

Критерии выставления оценок

Оценка «отлично» ставится за полностью раскрытый теоретический материал и правильные ответы на дополнительные вопросы преподавателя. В болонской шкале оценка может быть скорректирована в ту или иную сторону с учетом малозначительных погрешностей изложения или, напротив, углубленного изложения материала.

Оценка «хорошо» ставится за изложенный теоретический материал билета (возможно с помощью наводящих подсказок преподавателя).

Оценка «удовлетворительно» ставится за знание основных вопросов по каждой теме.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполняются условия для получения оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно».

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

1.Список задач по теме «Математические модели систем управления и основные принципы управления».

2. Список задач по теме «Математические методы исследования систем управления с непрерывной моделью времени».

3. Список задач по теме «Математические методы исследования систем управления с дискретной моделью времени».

4. Список задач по теме «Оптимальное управление и стабилизация систем с непрерывной моделью времени».

5. Список задач по теме «Управление нелинейными системами».

Составитель: доц. В.А. Бондарко

**Вопросы экзамена:**

1.Понятие объекта управления. Основные цели управления.

2. Принцип разомкнутого управления. Управление по принципу обратной связи.

3. Задачи синтеза системы управления.

4. Характеристики системы: устойчивость, робастность, оптимальность.

5. Математические модели систем управления. Формальное определение системы (объекта управления).

6. Стационарные системы. Линейные системы.

7. Функциональная модель ("вход-выход").

8. Каноническая модель в пространстве состояний.

9. Переход от канонической модели к функциональной.

10. Переход от функциональной модели к канонической.

11. Преобразование Лапласа.

12. Передаточная функция линейной стационарной системы.

13. Вычисление передаточной функции.

14. Управляемость и наблюдаемость конечномерных канонических систем.

15. Теорема двойственности.

16. Устойчивость и стабилизируемость.

17. Основная теорема о внешней устойчивости линейной стационарной системы.

18. Стабилизируемость, синтез стабилизирующей обратной связи от состояния к управлению.

19. Перемещение собственных чисел.

20. Лемма Шура.

21. Лемма о перестановке.

22. Лемма Хейнмана.

23. Теорема о стабилизации.

24. Стабилизируемость по выходу.

25. Синтез обратной связи.

26. Детектируемость, теорема о детекции.

27. Построение обратной связи по выходу с помощью наблюдателя.

28. Теорема о стабилизируемости по выходу.

29. Невырожденность передаточных функций.

30. Стабилизация по выходу для функциональных моделей.

31. Дискретные системы. Z-преобразование. Передаточные функции.

32. Оптимальное управление дискретными минимально-фазовыми объектами с нерегулярным возмущением, с запаздыванием, с устойчивым многочленом при возмущении.

33. Динамическое программирование.

34. Линейно-квадратичная оптимальное управление.

35. Дискретизация конечномерных линейных стационарных систем.

36. Наследование свойств в пространстве состояний.

37. Дискретизация функциональных ("вход-выход") моделей. Наследование невырожденности.

38. Асимптотика нулей передаточной функции. Наследование минимальной фазовости.

39. Оптимальное управление непрерывными минимально-фазовыми объектами с нерегулярным возмущением, с запаздыванием и без.

40. Принцип максимума Понтрягина.

41. Бесконечномерные модели. Полугруппы.

42. Стабилизируемость бесконечномерных объектов по состоянию.

43. Стабилизируемость по выходу и невырожденность передаточных функций непрерывных объектов.

44. Дискретизация бесконечномерных систем.

45. Стабилизируемость и невырожденность бесконечномерных систем.

46. Наследование невырожденности и стабилизация бесконечномерных систем.

47. Теорема о малом коэффициенте.

48. Лемма Ляпунова.

49. Грамианы. Редукция компонент, соответствующих нулевым диагональным блокам грамиана управляемости и грамиана наблюдаемости.

50. Теорема об одновременном приведении.

51. Кронекеровские произведение и сумма. Уравнение Сильвестра.

52. "Полулинейная" теорема о малом коэффициенте.

53. Круговой критерий.

54. Постановка задач управления для нелинейных систем.

55. Линейные системы и линеаризация. Синтез через линеаризацию.

56. Стабилизация по выходу через линеаризацию.

57. Интегрирующая обратная связь.

58. Линеаризация "вход-состояние". Обратные связи по состоянию.

59. Интегрирующая обратная связь.

60. Линеаризация "вход-выход".

61. Backstepping.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Оценка обучающимися содержания и качества учебного процесса по дисциплине осуществляется в установленном в СПбГУ порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень кандидата или доктора наук (в том числе степень PhD, прошедшую установленную процедуру признания и установления эквивалентности). Преподаватели, привлекаемые к проведению практических занятий, должны иметь базовое образование.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Не предполагается.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Стандартно оборудованные лекционные аудитории.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Не предусматривается.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Не предусматривается.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Не предусматривается.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Не предусматривается.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. Леонов Г.А. Теория управления. Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2006. Сер. "Петербургская классика", 233 с.

2. Гелиг А.Х., Леонов Г.А., Якубович В.А. Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. М., "Наука", 1978.

3. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов. -СПб.: Политехника, 1998. -295 с.

4. Острём К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ: Пер с англ. –М.: Мир, 1987. –480 с.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. Халил Х.К., Нелинейные системы, М. : Ин-т компьют. исслед. ; Ижевск : РХД, 2009, 832 с.

2. Glad T., Ljung L., Control Theory. Multivariable and nonlinear methods. London, NY, Naylor and Francis, 2008. - 482 p. - ЭР открытого доступа в сети интернет.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

Не предусматривается.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Бондарко Владимир Александрович, кандидат физ.-мат. наук, доцент, Кафедра теоретической кибернетики.