

Белорусский государственный университет



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик
2015 г.

Регистрационный № УД- 503 /уч.

**УСТОЙЧИВОСТЬ И СТАБИЛИЗИРУЕМОСТЬ
ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**
Учебная программа учреждения высшего образования
для специальности

1-31 03 02 – Механика и математическое моделирование

2015г.

Учебная программа составлена на основе ОСРБ 1-31 03 02-2008, 24.08.2008 и учебного плана, регистрационный № G31-025/уч., 24.08.2008 по специальности 1-31 03 02 Механика (по направлениям).

СОСТАВИТЕЛЬ:

Иван Васильевич Гайшун – профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
(протокол № 10 от 21.05.2015)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 29.06.2015)



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Теория устойчивости и стабилизации линейных систем управления тесно связана со многими областями современной математики: дифференциальные уравнения, динамические системы, функциональный анализ, теория управления, операционное исчисление, теоретическая механика и др. Теория устойчивости имеет исключительное прикладное значение, поскольку устойчивость – это необходимое условие функционирования любой реальной системы. При нарушении этого свойства возникает важная задача стабилизации системы. Поэтому знание основ теории систем регулирования, их устойчивости и стабилизации необходимо студентам механико-математического факультета, специализирующимся по кафедре теоретической и прикладной механики.

Цель дисциплины специализации «Устойчивость и стабилизируемость линейных систем управления»:

Ознакомление студентов, специализирующихся по кафедре теоретической и прикладной механики, с основными методами теории устойчивости и управляемости динамических систем, с методами стабилизации управляемых систем.

Образовательная цель: изложение основ первого и второго метода Ляпунова исследования устойчивости динамических систем, теории Каллмана систем управления и наблюдения, изложение методов стабилизации управляемых систем.

Развивающая цель: формирование у студентов навыков комплексного исследования систем регулирования на основе различных методов; навыки должны включать четкую постановку цели исследования, выбор адекватного ей метода, проведение исследования, интерпретация полученных результатов.

Основные задачи, решаемые в рамках изучения дисциплины специализации «Устойчивость и стабилизируемость линейных систем управления»:

- формирование у студентов понятия об основных характеристиках систем регулирования;
- формирование у студентов знаний об основных методах исследования систем регулирования;
- ориентация студентов на творческий анализ задач теории регулирования.

В результате изучения дисциплины «Устойчивость и стабилизируемость линейных систем управления» обучаемый студент должен:

Знать:

- основные понятия и методы теории устойчивости;

- основные результаты теории систем управления и наблюдения;
- методы стабилизации систем регулирования.

Уметь:

- применять результаты теории при решении конкретных задач;
- использовать свойства управляемых систем для построения стабилизирующих обратных связей.

Владеть:

- методами исследования устойчивости динамических систем;
- методами исследования задач управляемости и наблюдаемости линейных систем;
- алгоритмами построения стабилизирующих обратных связей;
- навыками самообразования в области систем регулирования.

Учебная дисциплина УВО «Устойчивость и стабилизируемость линейных систем управления» предназначена для студентов дневной формы получения образования.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины отводится 152 часа, в том числе 86 часов аудиторных занятий. Распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 48 часов, практические и семинарские занятия – 28 часов, УСР – 10 часов, рекомендуемая форма отчетности – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема I. Общие теоремы об устойчивости движения

Основные понятия теории устойчивости. Теорема об устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости в терминах функций Ляпунова. Исследование устойчивости равновесия голономной консервативной системы.

Тема II. Устойчивость линейных стационарных систем и теоремы об устойчивости по линейному приближению

Основные теоремы об устойчивости линейных систем. Построение функции Ляпунова для линейных стационарных систем в виде квадратичных форм. Теоремы об устойчивости по линейному стационарному приложению.

Тема III. Приводимые и правильные системы, их роль в теории устойчивости по линейному приближению

Особенности теории устойчивости по линейному приближению, когда оно не стационарно. Понятия приводимости и правильности, признаки их наличия. Теоремы об устойчивости по приводимому и правильному линейному приближению.

Тема IV. Устойчивость и сильная устойчивость линейных гамильтоновых систем с периодическими коэффициентами

Конечномерные пространства с индефинитной метрикой. Свойства характеристического уравнения линейной гамильтоновой системы с периодическими коэффициентами. Условия устойчивости. Теоремы Крейна и Крейна-Гельфанда о сильной устойчивости.

Тема V. Устойчивость типа «вход-выход»; элементы теории устойчивости дискретных систем

Понятие устойчивости типа «вход-выход». Критерий такой устойчивости, представленный через фундаментальную матрицу. Связь устойчивости типа «вход-выход» с экспоненциальной устойчивостью. Обзор теории устойчивости для дискретных систем. Понятие динамического хаоса в дискретных системах; примеры хаотических систем.

Тема VI. Теория управляемости линейных систем; управляемость по линейному приближению

Основные понятия теории управления-наблюдения; примеры из теоретиче-

ской механики. Управляемость и наблюдаемость линейных стационарных систем. Особенности теории управления-наблюдения в нестационарных системах. Управляемость и наблюдаемость по линейному приближению.

Тема VII. Задача об управлении спектром и стабилизация линейных систем

Понятие об обратной связи. Теорема об управляемости спектра. Стабилизация линейной управляемой системы. Стабилизация с помощью функций Ляпунова. Стабилизация механических систем в форме Лагранжа.

Тема VIII. Нелинейные регуляторы

Система прямого и непрямого регулирования. Абсолютная устойчивость. Условия Лурье-Постникова и критерий Попова абсолютной устойчивости.

Тема IX. Устойчивость и стабилизация многосвязных систем

Функция Ляпунова для экспоненциально устойчивой системы. Линейные и нелинейные связи подсистем. Устойчивость и стабилизация многосвязных систем с линейными и нелинейными связями.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Количество часов по УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	9
	Устойчивость и стабилизируемость ЛСУ	48	28		10		
1	Основные понятия теории устойчивости. Теорема об устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости в терминах функций Ляпунова. Исследование устойчивости равновесия голономной консервативной системы.	4	2				
2	Основные теоремы об устойчивости линейных систем. Построение функций Ляпунова для линейных стационарных систем в виде квадратичных форм. Теоремы об устойчивости по линейному стационарному приближению.	4	2			2	Тесты
3	Особенности теории устойчивости по линейному приближению, когда оно нестационарно. Понятия приводимости и правильности, признаки их наличия. Теоремы об устойчивости по приво-димому и правильному линейному приближению.	6	4				
4	Конечномерные пространства с индефинитной метрикой. Свойства характеристического уравнения линейной гамилтоновой системы с периодическими коэффициентами. Условия устойчивости. Теоремы Крейна и Крейна-	6	4			2	Тесты

	Гельфанда о сильной устойчивости.								
5	<p>Понятие устойчивости типа «вход-выход».</p> <p>Критерий такой устойчивости, представленный через фундаментальную матрицу. Связь устойчивости типа «вход-выход» с экспоненциальной устойчивостью. Обзор теории устойчивости для дискретных систем.</p>	6	4						
6	<p>Основные понятия и задачи теории управляемых процессов. Множество достижимости и его свойства. Критерий Каллмана. Теорема об управляемости по линейному приближению, когда оно управляемо.</p>	6	4			2		Тесты	
7	<p>Понятие об обратной связи. Теорема об управляемости спектра. Стабилизация линейной управляемой системы. Стабилизация с помощью функций Ляпунова. Стабилизация механических систем в форме Лагранжа.</p>	6	4						
8	<p>Система прямого и непрямого регулирования. Абсолютная устойчивость. Условия Лурье-Постникова и критерий Попова абсолютной устойчивости.</p>	6	2						
9	<p>Функция Ляпунова для экспоненциально устойчивой системы. Линейные и нелинейные связи подсистем. Устойчивость и стабилизация многосвязных систем с линейными и нелинейными связями.</p>	4	2			2		Тесты	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. *Баростат Е.А.* Введение в теорию устойчивости. М: Наука, 1967.
2. *Барбашин Е.А.* Функции Ляпунова. М.: Наука, 1970.
3. *Гайшун И.В.* Введение в теорию линейных нестационарных систем. Минск, 1999.
4. *Якубович В.А., Старжинский В.М.* Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972.
5. *Гайшун И.В.* Системы с дискретным временем. Минск, 2001.

Дополнительная:

1. *Аникин В.М., Голубенцев А.Ф.* Аналитические модели детерминированного хаоса. М.: Физматлит, 2007.
2. *Астровский Ф.И., Гайшун И.В.* Линейные системы с квазидифференцируемыми коэффициентами: управляемость и наблюдаемость движений. Минск, 2013.

Пример теста по курсу

Устойчивость и стабилизируемость ЛСУ

1. При активном процессе нагружения пластические деформации:

- 1) возрастают; 2) неизменны; 3) убывают.

2. При пассивном процессе нагружения пластические деформации:

- 1) возрастают; 2) неизменны; 3) убывают.

3. Условный предел текучести:

- 1) напряжение при $\varepsilon = 0,2 \%$;
- 2) напряжение при $\varepsilon = \varepsilon_u$;
- 3) предел текучести при повторном нагружении.

4. Деформационная теория пластичности связывает:

- 1) напряжения и деформации;
- 2) напряжения и скорости деформации;
- 3) скорость нагружения и деформаций.

5. Теория пластического течения связывает:

- 1) напряжения и деформации;
- 2) напряжения и скорости деформации;
- 3) скорость нагружения и деформаций.

6. При повторном нагружении образца предел текучести:

- 1) повышается; 2) понижается; 3) не изменяется.

7. При знакопеременном нагружении образца предел текучести:

- 1) повышается; 2) понижается; 3) не изменяется.

8. Теория идеальной пластичности предполагает постоянство:

- 1) напряжений и деформаций; 2) деформаций; 3) напряжений.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
УВО**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Теоретическая механика	Кафедра теоретической и прикладной механики	нет	Изменений в содержании учебной программы не требуется. Протокол №10 от 21.05.2015 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20_ г.)

Заведующий кафедрой

_____ (степень, звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (степень, звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)