

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»
(КГУ)

Кафедра «Механика машин и основы конструирования»



Утверждаю
Ректор
/Н.В. Дубив/
2020 г.

Рабочая программа учебной дисциплины
НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

образовательной программы высшего образования –
программы специалитета
01.05.01 – Фундаментальные математика и механика

Направленность:
Математическое и компьютерное моделирование механических систем

Формы обучения: очная

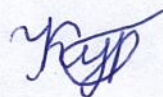
Курган 2020

Рабочая программа дисциплины «Нелинейная динамика механических систем» составлена в соответствии с учебным планом по программе специалитета Фундаментальные математика и механика (Математическое и компьютерное моделирование механических систем), утвержденным для очной формы обучения 28.08.2020 г.

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры «Механика машин и основы конструирования» 11.09.2020 г., протокол № 1.

Рабочую программу составил

к.т.н., доцент



Д.А. Курасов

Согласовано:

Заведующий кафедрой

«Механика машин и основы конструирования»



Д.А. Курасов

Специалист по учебно-методической работе
Учебно-методического отдела



Г.В. Казанкова

1. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Всего: 5 зачетных единиц трудоемкости (180 академических часов)

Очная форма обучения

Вид учебной работы	На всю дисциплину	Семестр	
		8	9
Аудиторные занятия (контактная работа с преподавателем), всего часов в том числе:	64	24	40
Лекции	36	12	24
Практические занятия	28	12	16
Самостоятельная работа, всего часов в том числе:	116	84	32
Подготовка к зачету	36	18	18
Другие виды самостоятельной работы (самостоятельное изучение тем (разделов) дисциплины)	80	66	14
Вид промежуточной аттестации	Зачет	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость дисциплины и трудоемкость по семестрам, часов	180	108	72

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Нелинейная динамика механических систем» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1.

Изучение дисциплины «Нелинейная динамика механических систем» играет важную роль в подготовке специалиста.

Освоение обучающимися дисциплины «Нелинейная динамика механических систем» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, приобретенные в результате освоения предшествующих дисциплин:

- Математический анализ;
- Физика;
- Теоретическая механика;
- Техническая механика;
- Вычислительная механика.

Результаты обучения по дисциплине необходимы для освоения последующих дисциплин:

- Задачи устойчивости конструкций;
- Численные методы механики сплошных сред;
- Научно-исследовательская работа.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Целью освоения дисциплины «Нелинейная динамика механических систем» является ознакомление студентов с основами математического моделирования и качественного анализа динамических систем, возникающих в задачах теоретической механики и нелинейной динамики.

Задачами освоения дисциплины «Нелинейная динамика механических систем» является формирование у обучающихся следующих знаний, умений и навыков по разработке динамических, и математических моделей машин и механизмов с учетом входящих в них нелинейных элементов.

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины:

- способность использовать методы компьютерного моделирования при решении прикладных задач исследования сложных физических процессов в твердых телах, жидкостях и газах (ПК-3);
- способность разрабатывать физические и компьютерные модели производственно-технологических объектов, сред и конструкций, а также использовать современное экспериментальное оборудование (ПК-6).

В результате изучения дисциплины обучающийся должен знать:

- принципы качественного поведения нелинейных динамических систем (для ПК-6);
- основные термины, определения теории нелинейных уравнений, теории хаоса, теории фракталов; общие принципы построения нормальных форм обыкновенных дифференциальных и разностных уравнений (для ПК-6);
- основные математические методы исследования нелинейных динамических систем (для ПК-3, ПК-6);
- физическую интерпретацию основных математических объектов нелинейной динамики (для ПК-6);

Обучающийся должен уметь:

- определять влияние нелинейных элементов на поведение технических систем (для ПК-6);
- моделировать работу нелинейных динамических систем на ЭВМ (для ПК-3);

Обучающийся должен владеть:

- основами эксплуатации и наладки нелинейных технических систем (для ПК-3, ПК-6);
- численными методами решения систем дифференциальных уравнений, описывающих работу нелинейных динамических систем (для ПК-6).

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Учебно-тематический план

Рубеж	Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество часов контактной работы с преподавателем	
			Лекции	Практические занятия
			8 семестр	
Рубеж 1	1	Основные понятия и определения методов нелинейной динамики	2	-
	2	Фундаментальные эффекты, к которым приводит нелинейность	1	5
	3	Численное решение дифференциальных уравнений	1	-
	4	Теория колебаний и нелинейная динамика		-
	Рубежный контроль №1			1
Рубеж 2	5	Нелинейные диссипативные осцилляторы в механических системах	2	-
	6	Фазовый портрет, пространство состояний	2	-
	7	Динамическая система общего вида на фазовой плоскости	2	5
	8	Динамический хаос	2	-
	Рубежный контроль №2			1
			9 семестр	
Рубеж 3	9	Простейшие бифуркации	6	-
	10	Самоорганизация в нелинейных системах	6	-
	11	Понятие о многолистном фазовом портрете механической системы		6
	Рубежный контроль №3			2
Рубеж 4	12	Построение имитационной модели нелинейного диссипативного осциллятора	6	-
	13	Моделирование нелинейной динамики технологических процессов механической обработки	6	-
	14	Методы анализа нелинейной динамики механической системы на основе исследования эволюции фазового портрета		6
	Рубежный контроль №4			2
Всего:			38	30

4.2. Содержание лекционных занятий

Тема 1. Основные понятия и определения методов нелинейной динамики

Введение. Цели и задачи изучения дисциплины. Требования по изучению дисциплины. Типовые нелинейные системы. Нелинейные элементы и нелинейные характеристики.

Тема 2. Фундаментальные эффекты, к которым приводит нелинейность

Неизохронность. Ангармоничность колебаний и генерация гармоник. Комбинационные составляющие.

Тема 3. Численное решение дифференциальных уравнений

Численное решение дифференциальных уравнений. Метод Эйлера, метод Рунге-Кутты 4-го порядка и другие методы. Примеры численного решения нелинейных дифференциальных уравнений.

Тема 4. Теория колебаний и нелинейная динамика

Примеры колебаний в технических системах на основе аппарата дифференциального исчисления.

Тема 5. Нелинейные диссипативные осцилляторы в механических системах

Энергетика механических автоколебательных систем. Период колебаний нелинейного осциллятора.

Тема 6. Фазовый портрет, пространство состояний

Виды колебаний, фазовый портрет, пространство состояний (фазовое пространство), консервативность и диссипативность, аттрактор, репеллер.

Тема 7. Динамическая система общего вида на фазовой плоскости

Методы анализа нелинейных систем. Особые точки и их классификация. Предельные циклы. Консервативность и диссипативность, аттрактор, репеллер.

Тема 8. Динамический хаос

Понятие динамического хаоса. Автоколебания. Бифуркация, мультистабильность и гистерезис.

Тема 9. Простейшие бифуркации

Тангенциальная бифуркация. Бифуркация удвоения. Бифуркация Пуанкаре-Андрона-Хопфа.

Тема 10. Самоорганизация в нелинейных системах

Теория волн и динамика распределенных систем. Синергетика, теория диссипативных структур, фрактал.

Тема 11. Понятие о многолистном фазовом портрете механической системы

Построение фазового портрета методом припасовывания нелинейных характеристик для замены сложной нелинейности несколькими линейными участками. Решения, соответствующие этим участкам.

Тема 12. Построение имитационной модели нелинейного диссипативного осциллятора

Экспериментальные методы исследования реальных систем по имитационным моделям, которые объединяют особенности экспериментального подхода и специфические условия применения вычислительной техники.

Тема 13. Моделирование нелинейной динамики технологических процессов механической обработки

Моделирование нелинейного диссипативного осциллятора технологического процесса на примере моделирования нелинейной динамики выглаживания в программной среде VisSim.

Тема 14. Методы анализа нелинейной динамики механической системы на основе исследования эволюции фазового портрета

Геометрический метод исследования нелинейных динамических систем с использованием экспериментальных данных. Качественный подход к анализу нелинейных имитационных моделей. Построение аттракторов и предельных циклов динамических систем.

4.3. Практические занятия

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Наименование лабораторной работы	Норматив времени, час
			8 семестр
2	Фундаментальные эффекты, к которым приводит нелинейность	Изучение статических и динамических характеристик нелинейных звеньев и объектов	5
		Рубежный контроль №1	1
7	Динамическая система общего вида на фазовой плоскости	Знакомство с моделью нелинейной динамики процесса выглаживания. Характеристики и идентификация нелинейных объектов	5
		Рубежный контроль №2	1
			9 семестр
11	Понятие о многолистном фазовом портрете механической системы	Построение многолистного фазового портрета нелинейной динамики процесса выглаживания	6
		Рубежный контроль №3	2
14	Методы анализа нелинейной динамики механической системы на основе исследования эволюции фазового портрета	Исследование эволюции бифуркационных границ нелинейной динамики процесса выглаживания	6
		Рубежный контроль №4	2
Всего:			30

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При прослушивании лекций рекомендуется в конспекте отмечать все важные моменты, на которых заостряет внимание преподаватель, в частности те, которые направлены на качественное выполнение соответствующего практического занятия.

Преподавателем запланировано использование при чтении лекций технологии учебной дискуссии. Поэтому рекомендуется фиксировать для себя интересные моменты с целью их активного обсуждения на дискуссии в ходе практического занятия.

Залогом качественного выполнения практических занятий является самостоятельная подготовка к ним накануне путем повторения материалов лекций. Рекомендуется подготовить вопросы по неясным моментам и обсудить их с преподавателем в начале практического занятия.

Преподавателем запланировано применение на практических занятиях технологий развивающейся кооперации, коллективного взаимодействия, разбора конкретных ситуаций. Поэтому приветствуется групповой метод выполнения практических занятий, а также взаимооценка и обсуждение результатов выполнения практических занятий.

Для текущего контроля успеваемости по очной форме обучения преподавателем используется балльно-рейтинговая система контроля и оценки академической активности. Поэтому настоятельно рекомендуется тщательно прорабатывать материал дисциплины при самостоятельной работе, участвовать во всех формах обсуждения и взаимодействия на практических занятиях в целях лучшего освоения материала и получения высокой оценки по результатам освоения дисциплины.

Выполнение самостоятельной работы подразумевает самостоятельное изучение разделов дисциплины, подготовку к практическим занятиям, рубежным контролям, подготовку к зачетам.

Рекомендуемая трудоемкость самостоятельной работы представлена в таблице:

Рекомендуемый режим самостоятельной работы

Наименование вида самостоятельной работы	Рекомендуемая трудоемкость, акад. час.	
	8 семестр	9 семестр
Самостоятельное изучение тем дисциплины:	50	6
Детерминированный хаос и информационные технологии	12	–
Динамический хаос и синергетика	14	–
Хаос, фракталы и информация	12	–
Фракталы, фрактальная размерность	2	2
Нелинейные резонансы	10	–
Стационарные и периодические режимы, их устойчивость	–	2
Бифуркация Хопфа	–	2
Подготовка к практическим занятиям (по 2 часа на занятие)	12	4
Подготовка к рубежным контролям (по 2 часа на каждый рубеж)	4	4
Подготовка к зачету	18	18
Всего:	84	32

Приветствуется выполнение разделов самостоятельной работы в компьютерном классе кафедры «Механика машин и основы конструирования».

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

6.1. Перечень оценочных средств

1. Балльно-рейтинговая система контроля и оценки академической активности студентов в КГУ.
2. Перечень вопросов к рубежным контролям №1, №2, №3, №4.
3. Перечень вопросов к зачету.

6.2. Система балльно-рейтинговой оценки работы студентов по дисциплине

№		Наименование		Содержание			
				Распределение баллов за 8 семестр			
1	Распределение баллов за семестры по видам учебной работы, сроки сдачи учебной работы (доводятся до сведения студентов на первом учебном занятии)	Вид учебной работы: Балльная оценка: Примечания	Посещение лекций до 24 6 лекций по 4 балла	Посещение практических занятий до 24 6 практических занятий по 4 балла	Рубежный контроль 1,2		Зачет до 30
					Модуль 1	Модуль 2	
2	Критерий пересчета баллов в традиционную оценку по итогам работы в семестре и зачета	Вид учебной работы: Балльная оценка: Примечания	Посещение лекций до 24 12 лекций по 2 балла	Посещение практических занятий до 24 6 практических занятий по 4 балла	Распределение баллов за 9 семестр		Зачет до 30
					Рубежный контроль 3,4		
3	Критерий допуска к промежуточной аттестации, возможности получения автоматического зачета по дисциплине, возможность получения бонусных баллов	60 и менее баллов – неудовлетворительно; незачтено 61...73 – удовлетворительно; зачтено 74... 90 – хорошо; 91... 100 – отлично	Для допуска к промежуточной аттестации (зачету) студент должен набрать по итогам текущего и рубежного контроля не менее 50 баллов и должен выполнить все практические работы. Для получения зачета «автоматически» студенту необходимо набрать за семестр минимальное количество баллов - 61. По согласованию с преподавателем студенту, набравшему 68 баллов, могут быть добавлены дополнительные (бонусные) баллы за активное участие в научной и методической работе, оригинальность принятых решений в ходе выполнения практических работ, за участие в значимых учебных и внеучебных мероприятиях кафедры и выставлен экзамен «автоматически», оценка «хорошо» или «отлично».	до 11	до 11	До 11	На 8-м практическом занятии
					Модуль 3	Модуль 4	
					до 11	до 11	
					На 4-м практическом занятии	На 8-м практическом занятии	

№	Наименование	Содержание
4	<p>Формы и виды учебной работы для неуспевающих (восстановившихся на курсе обучения) студентов для получения недостающих баллов в конце семестра</p>	<p>В случае если к промежуточной аттестации (зачету, экзамену) набрана сумма менее 50 баллов, студенту необходимо набрать недостающее количество баллов за счет выполнения дополнительных заданий, до конца последней (зачетной) недели семестра. При этом необходимо проработать материал всех пропущенных практических работ.</p> <p>Формы дополнительных заданий (назначаются преподавателем):</p> <ul style="list-style-type: none"> - выполнение и защита отчетов по пропущенным практическим занятиям (до 2 баллов); - прохождение рубежного контроля (баллы в зависимости от рубежа). <p>Ликвидация академических задолженностей, возникших из-за разности в учебных планах при переводе или восстановлении, проводится путем выполнения дополнительных заданий, форма и объем которых определяется преподавателем.</p>

6.3. Процедура оценивания результатов освоения дисциплины

Рубежный контроль 1, 2, 3, 4 (модуль 1, 2, 3, 4) проходит в форме письменного ответа на вопросы. Перед проведением каждого рубежного контроля преподаватель прорабатывает со студентами основной материал соответствующих разделов дисциплины в форме краткого практического занятия.

Варианты заданий для рубежных контролей № 1, 2, 3 и 4 состоят из трех вопросов. Каждый вопрос оценивается в 3 балла. На каждый рубежный контроль студенту отводится не менее 30 минут.

Преподаватель оценивает в баллах результаты рубежных контролей 1,2,3,4 и заносит в ведомость учета текущей успеваемости.

Зачет включает в себя ответ на два вопроса. Каждый вопрос оценивается в 15 баллов. Время, отводимое студенту на подготовку к ответу, составляет 1 астрономический час.

Результаты текущего контроля успеваемости и сдачи зачета заносятся преподавателем в зачетную ведомость, которая сдается в организационный отдел института в день проведения зачета, а также выставляются в зачетную книжку студента.

6.4. Примеры оценочных средств для рубежных контролей и зачета

Примеры вопросов к рубежному контролю № 1

1. Назовите типовые нелинейные системы, их элементы.
2. Характеристики нелинейных систем.
3. Какие методы применяются при численном решении дифференциальных уравнений?
4. Приведите примеры колебаний в технических системах.
5. Что такое автоколебательная система?
6. Функция в Vissim, реализующая колебательную систему.

Примеры вопросов к рубежному контролю № 2

1. Какие нелинейные диссипативные осцилляторы существуют в технических системах?
2. Классификация особых точек фазовых траекторий.
3. Что такое «предельные циклы»?
4. Основные понятия динамического хаоса.
5. Какие бывают виды бифуркаций?
6. Устойчивость в точках бифуркации.

Примеры вопросов к рубежному контролю № 3

1. Что представляет собой синергетика в технических системах.
2. динамический хаос и синергетика.

3. Многолистный фазовый портрет технической системы.
4. Каким образом строятся имитационные модели реальных систем?
5. Что является основой геометрического метода исследования нелинейных динамических систем?

Примеры вопросов к рубежному контролю № 4

1. Нелинейные резонансы.
2. Понятие устойчивости динамических систем.
3. Фракталы и их свойства.
4. Моделирование нелинейного диссипативного осциллятора технологического процесса в программной среде VisSim.
5. Как влияет метод интегрирования на результаты моделирования в VisSim?
6. Построение многолистного фазового портрета в VisSim?

Примерный перечень вопросов к зачету 8 семестр

1. Типовые нелинейные системы, нелинейные элементы и нелинейные характеристики.
2. Неизохронность.
3. Ангармоничность колебаний и генерация гармоник.
4. Комбинационные составляющие.
5. Численное решение дифференциальных уравнений.
6. Метод Эйлера.
7. Метод Рунге-Кутты 4-го порядка и другие методы.
8. Примеры численного решения нелинейных дифференциальных уравнений.
9. Нелинейные диссипативные осцилляторы в технических системах.
10. Энергетика механических автоколебательных систем.
11. Фазовый портрет, пространство состояний.
12. Классификация особых точек фазовых траекторий.

Примерный перечень вопросов к зачету 9 семестр

1. Предельные циклы.
2. Консервативность и диссипативность, аттрактор, репеллер.
3. Бифуркации, мультистабильность и гистерезис.
4. Динамический хаос.
5. Тангенциальная бифуркация.
6. Бифуркация удвоения.
6. Бифуркация Пуанкаре-Андропова-Хопфа.
8. Синергетика, процессы упорядочения элементов одного уровня.
9. Построение фазового портрета методом припасовывания нелинейных характеристик.
10. Построение имитационных моделей.
11. Экспериментальные методы исследования реальных систем.
12. Моделирование нелинейной динамики.
13. Методы анализа нелинейной динамики технической системы.

6.5. Фонд оценочных средств

Полный банк заданий для текущего, рубежных контролей и промежуточной аттестации по дисциплине, показатели, критерии, шкалы оценивания компетенций, методические материалы, определяющие процедуры оценивания образовательных результатов, приведены в учебно-методическом комплексе дисциплины.

7. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1. Основная учебная литература

1. Методы управления нелинейными механическими системами / Ф.Л. Черноусько, И.М. Ананьевский, С.А. Решмин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с.
2. Нелинейная теория управления : динамика, управление, оптимизация / под ред. В.М. Матросова, С.С. Васильева, А.И. Москаленко. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 350 с.
3. Кузнецов В.П., Горгоц В.Г. Моделирование нелинейной динамики технологических процессов механической обработки: учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 64 с.

7.2. Дополнительная учебная литература

1. Управление информационным взаимодействием в распределенных технических системах: конечно-автоматный подход : монография / Ю.К. Апраксин. — М. : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2018. – 184 с.
2. Жмудь В.А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim / Жмудь В.А. – Новосибирск : НГТУ, 2016. – 124 с.
3. Моделирование систем управления с применением Matlab: Учебное пособие / А.Н. Тимохин, Ю.Д. Румянцев. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 256 с.

**8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. ЭБС «Лань»
2. ЭБС «Консультант студента»
3. ЭБС «Znaniium.com»
4. «Гарант» - справочно-правовая система

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение по реализации дисциплины осуществляется в соответствии с требованиями ФГОС ВО по данной образовательной программе.

Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Нелинейная динамика механических систем»

образовательной программы высшего образования –
программы специалитета
01.05.01 – Фундаментальные математика и механика

Направленность:

Математическое и компьютерное моделирование механических систем

Трудоемкость дисциплины: 5 ЗЕ (180 академических часов)

Семестр: 8, 9 (очная форма обучения)

Форма промежуточной аттестации: зачет, зачет.

Содержание дисциплины

Математические модели нелинейных динамических систем. Основные определения. Классификация поведения нелинейных динамических систем. Хаос в нелинейных динамических системах. Фракталы: определения и свойства. Самоорганизация в нелинейных системах.