

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор, проректор по
УР

_____ А.Е. Рудин

«21» февраля 2023 года

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.04 Математическое моделирование

Учебный план: 2023-2024 15.04.02 ИИТА КИТМ ОО №2-1-87.plx

Кафедра: **28** Машиноведения

Направление подготовки:
(специальность) 15.04.02 Технологические машины и оборудование

Профиль подготовки: Компьютерный инжиниринг технологических машин
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
1	УП	17	17	73,75	0,25	3	Зачет
	РПД	17	17	73,75	0,25	3	
2	УП	17	17	81	29	4	Экзамен, Курсовая работа
	РПД	17	17	81	29	4	
Итого	УП	34	34	154,75	29,25	7	
	РПД	34	34	154,75	29,25	7	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование, утверждённым приказом Минобрнауки России от 14.08.2020 г. № 1026

Составитель (и):

доктор технических наук, Профессор

Марковец Алексей
Владимирович

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой машиноведения

Марковец Алексей
Владимирович

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Марковец Алексей
Владимирович

Методический отдел: Макаренко С.В.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Сформировать компетенции обучающегося в области колебаний цикловых механизмов, методов их анализа и средств их подавления. Ознакомление со специфическими особенностями цикловых механизмов в формировании виброактивности приводов технологических машин отрасли

1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть приемы построения динамических моделей и способы разработки и математического моделирования машин с жесткими звеньями при учете характеристик двигателя;
- Рассмотреть типовые задачи анализа и динамического синтеза цикловых механизмов с учетом упругих и диссипативных характеристик машин;
- Показать особенности исследования и расчёта цикловых колебательных систем машин отрасли

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Дисциплина базируется на компетенциях, сформированных на предыдущем уровне образования

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-1: Способен сопровождать жизненный цикл продукции машиностроения
Знать: Методологию и последовательность решения практических задач на основе использования математических методов с применением информационных технологий
Уметь: Выполнять вычисления, решать математические модели применительно к сфере инженерных исследований с использованием методов математического анализа
Владеть: Навыками использования аналитических и численных методов для математического моделирования узлов машин и механизмов с применением современного программного обеспечения
ПК-3: Способен организовывать техническое и методическое руководство проектированием продукции (услуг)
Знать: Особенности разработки динамических и математических моделей машин с жесткими звеньями при учете характеристик двигателя
Уметь: Разрабатывать и анализировать динамические и математические модели машин с жесткими звеньями
Владеть: Навыками математического моделирования машин с жесткими звеньями при учете механических характеристик двигателя

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Динамические модели машин с жесткими звеньями	1					
Тема 1. Основные понятия и определения динамики машин. Рабочие процессы в машине. Структура машины.		1		8		
Тема 2. Динамические модели двигателей. Виды механических характеристик двигателя. Линеаризация характеристик двигателя. Характеристики электродвигателей постоянного тока и асинхронных электродвигателей переменного тока. Практическое занятие: Механические характеристики двигателей		1	1	7	ГД	О
Тема 3. Динамические модели механических систем. Механизмы с жесткими звеньями. Характеристики рабочих процессов. Силы сопротивления. Практическое занятие: разработка динамической модели машины с жесткими звеньями		1	1	7	ГД	
Раздел 2. Математическая модель жесткой машины с одной степенью подвижности						
Тема 4. Кинетическая энергия машины. Приведенный момент инерции. Структура приведенного момента инерции. Определение обобщенных сил. Приведенный момент сил сопротивления. Структура приведенного момента сил сопротивления. Практическое занятие: Разработка математической модели машины с жесткими звеньями		2	1	7,75	ГД	О
Тема 5. Уравнения движения машины. Режимы движения. Практическое занятие: Разработка математической модели машины с жесткими звеньями (продолжение)		1	1	8	ГД	
Раздел 3. Исследование режимов движения машины с жесткими звеньями						
Тема 6. Анализ установившегося движения машины при учете идеальной характеристики двигателя. Выбор электродвигателя. Практическое занятие: Исследование установившегося движения машины при идеальной характеристике двигателя	1	2	9		О	

Тема 7. Анализ установившегося движения машины с учетом статической характеристики двигателя. Метод последовательных приближений. Исследование нулевого приближения. Определение первого приближения. Максимальный движущий момент. Динамические нагрузки в передаточном механизме. Методы уменьшения внутренней виброактивности машины (разгрузатели, динамические гасители). Практическое занятие: Исследование установившегося движения машины с учетом статической характеристики двигателя		4	4	9	ГД	
Тема 8. Анализ установившегося движения машины с учетом динамической характеристики двигателя. Определение средней угловой скорости. Условия устойчивости. Определение динамических ошибок. Исследование амплитудно-частотных характеристик. Динамический момент в передаточном механизме. Практическое занятие: Исследование установившегося движения машины с учетом динамической характеристики двигателя.		4	5	9	ГД	
Тема 9. Анализ переходных режимов движения машины. Анализ разбега машины при учете статической характеристики двигателя. Определение времени разгона машины. Анализ разбега машины при учете динамической характеристики двигателя, определение времени разгона машины, критерии возникновения колебательного процесса разгона машины. Режим торможения машины. Практическое занятие: Исследование переходных режимов движения машины.		2	2	9	ГД	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	73,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25				
Раздел 4. Динамические модели цикловых механических систем с учетом упругих и диссипативных характеристик						
Тема 10. Роль цикловых механизмов при выполнении технологических и транспортных операций. Цикловые механизмы как источник виброактивности и объект виброизоляции технологических машин. Классификация колебательных явлений цикловых механических систем.	2	1		12		0
Тема 11. Законы программного движения выходных звеньев цикловых механизмов. Способы получения программных движений выходных звеньев цикловых механизмов. Структура закона движения выходного звена механизма, определение параметров закона движения выходного звена циклового механизма. Практическое занятие: геометрические характеристики цикловых механизмов. Практические занятия		1	2	11	ГД	

Тема 12. Элементы динамической модели: характеристики упругих элементов, параметры диссипации, приведение упругих и диссипативных характеристик динамической модели. Практическое занятие: разработка динамических моделей цикловых механических систем	2	2	12	АС	
Раздел 5. Математические модели цикловых механических систем с учетом упругих и диссипативных характеристик					
Тема 13. Квадратичная форма представления кинетической и потенциальной энергии. Получение математической модели механической системы с использованием уравнения Лагранжа второго рода. Особая форма уравнений Лагранжа второго рода с избыточными координатами. Практическое занятие: разработка математических моделей цикловых механических систем	3	3	11	АС	О
Тема 14. Составление систем дифференциальных уравнений с помощью уравнений Аппеля. Обратный способ получения систем дифференциальных уравнений математических моделей механических систем. Практическое занятие: разработка математических моделей цикловых механических систем (продолжение)	3	2	11	АС	
Раздел 6. Анализ колебаний цикловых механических систем с учетом упругих и диссипативных характеристик					
Тема 15. Динамика механизмов, отображаемых моделями с постоянными параметрами: вынужденные колебания, частотный и модальный анализ, исследование вынужденных колебаний при кинематическом и силовом возбуждении. Критерии динамического синтеза колебательных систем цикловых механизмов. Практическое занятие: Динамический анализ цикловых механических систем, отображаемых моделями с постоянными параметрами.	3	4	12	ГД	
Тема 16. Динамика механизмов, отображаемых моделями с переменными параметрами. Приближенное решение однородного дифференциального уравнения второго порядка с переменными коэффициентами методом условного осциллятора. Параметрический резонанс и его подавление. Условия устойчивости при медленном изменении параметров. Возбуждение сопровождающих колебаний при нарушении непрерывности геометрических характеристик циклового механизма. Типовые задачи динамического синтеза цикловых механизмов при учете упругодиссипативных характеристик. Практическое занятие: анализ динамических моделей с переменными параметрами	4	4	12	ГД	О

Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	81		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовая работа)		4,5		24,5		
Всего контактная работа и СР по дисциплине		72,75		179,25		

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): Формирования навыков практического расчета колебаний цикловых механических систем с применением современных методов аналитического исследования и компьютерного моделирования, закрепление теоретических положений и выдача инженерных рекомендаций по совершенствованию технологических машин.

Задача работы: составление динамических моделей цикловых механических систем с одной и несколькими степенями свободы, проверка виброактивности механизмов с помощью динамических критериев, обеспечение динамической устойчивости привода

4.2 Тематика курсовой работы (проекта): Курсовая работа выполняется на тему "Расчет колебаний привода с цикловым механизмом". Обучающемуся предлагается выполнить один из вариантов расчета механической системы, содержащей привод, включающий механизм с нелинейной функцией положения. В процессе выполнения работы обучающийся должен перейти от расчетной схемы к динамической модели, учитывающей упругость звеньев передаточного механизма и нелинейную функцию положения.

4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки на 20–25 листах формата А4 с изложением результатов расчета и анализа. При выполнении курсовой работы предполагается использование программного обеспечение, разработанного обучающимся самостоятельно, либо программ, разработанных на кафедре

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-1	Воспроизводит методологию и последовательность решения практических задач на основе использования математических методов с применением информационных технологий Выполняет вычисления, решает математические модели применительно к сфере инженерных исследований с использованием методов математического анализа Использует аналитические и численные методы для математического моделирования узлов машин и механизмов с применением современного программного обеспечения	Вопросы устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовая работа
ПК-3	Характеризует особенности разработки динамических и математических моделей машин с учетом характеристик двигателя и нелинейной функции положения исполнительного механизма Выполняет анализ динамики машин с учетом характеристик двигателя и нелинейности функции положения исполнительного механизма Использует компьютерные методы моделирования механических систем с учетом характеристик двигателя и нелинейности функции	Вопросы устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовая работа

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.	Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем требованиям. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.
4 (хорошо)	Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к	Все заданные вопросы освещены в необходимой полноте и с требуемым качеством. Ошибки отсутствуют.

	<p>материалу ответственный, но стандартный. Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>	<p>Самостоятельная работа проведена в достаточном объеме, но ограничивается только основными рекомендованными источниками информации. Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки или отступления от правил оформления работы. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>
3 (удовлетворительно)	<p>Ответ воспроизводит в основном только лекционные материалы, без самостоятельной работы с рекомендованной литературой. Демонстрирует понимание предмета в целом, без углубления в детали. Присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях по некоторым темам. Ответ неполный, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета в целом – существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>	<p>Задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием. Задание выполнено полностью, но с многочисленными существенными ошибками. При этом нарушены правила оформления или сроки представления работы. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>
2 (неудовлетворительно)	<p>Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Непонимание заданного вопроса. Неспособность сформулировать хотя бы отдельные концепции дисциплины. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки). Не учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>	<p>Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Содержание работы полностью не соответствует заданию. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы. Не учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>
Зачтено	<p>Обучающийся ответил на вопросы устного собеседования, решил практические задачи, прошел интернет-тестирование, возможно допуская несущественные ошибки в ответе на вопросы преподавателя. Учитываются баллы, накопленные в течение семестра.</p>	
Не зачтено	<p>Обучающийся не ответил на вопросы устного собеседования, не решил практические задачи, не прошел интернет-тестирование, допустил существенные ошибки в ответе на вопросы преподавателя. Не учитываются баллы, накопленные в течение семестра</p>	

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности
5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
	Семестр 1

1	Исследование разбега и торможения машины
2	Исследование установившегося движения с учетом динамической характеристики двигателя: исследование амплитудно-частотных характеристик
3	Исследование установившегося движения с учетом динамической характеристики двигателя: определение динамических ошибок
4	Исследование установившегося движения с учетом динамической характеристики двигателя: определение средней угловой скорости, условия устойчивости
5	Исследование установившегося движения с учетом статической характеристики двигателя: динамические нагрузки в передаточном механизме
6	Исследование установившегося движения с учетом статической характеристики двигателя: определение максимального движущего момента
7	Исследование установившегося движения с учетом статической характеристики двигателя: определение первого приближения, коэффициент неравномерности вращения выходного вала двигателя, инженерные рекомендации по уменьшению динамической ошибки по скорости
8	Исследование установившегося движения с учетом статической характеристики двигателя: определение нулевого приближения, условие устойчивости, коэффициент чувствительности
9	Исследование установившегося движения с учетом статической характеристики двигателя: метод последовательных приближений
10	Установившееся движение машины при идеальной характеристике двигателя
11	Уравнения движения машин. Режимы движения
12	Определение приведенного момента сил сопротивления машины (на примере механизма с нелинейной функцией положения). Представление приведенного момента сил сопротивления в виде ряда Фурье.
13	Определение приведенного момента инерции машины (на примере механизма с нелинейной функцией положения). Представление приведенного момента инерции в виде ряда Фурье
14	Характеристики рабочих процессов машин
15	Динамическая модель механической системы (на примере механизма с нелинейной функцией положения)
16	Динамическая модель механической системы (на примере механизма привода шпинделя токарного станка)
17	Параметры асинхронного электродвигателя переменного тока. Режимы движения асинхронного двигателя переменного тока.
18	Виды механических характеристик двигателя
19	Принципы построения динамической модели механической системы. Элементы динамической модели механической системы
20	Функциональная схема однодвигательной технологической машины
Семестр 2	
21	Колебания цикловых механизмов при медленном изменении параметров. Условия динамической устойчивости
22	Возбуждение сопровождающих колебаний при нарушении непрерывности геометрических характеристик циклового механизма. Эквивалентный скачок
23	Исследование вынужденных колебаний при периодическом кинематическом возбуждении на базе замкнутой формы решения
24	Анализ динамической модели циклового механизма на базе динамической модели с постоянными параметрами и с двумя степенями свободы
25	Анализ динамической модели циклового механизма на базе динамической модели с одной степенью свободы с постоянными параметрами
26	Оптимизация геометрических характеристик циклового механизма
27	Составление систем дифференциальных уравнений на базе уравнений Аппеля
28	Составление систем дифференциальных уравнений на базе уравнений Лагранжа второго рода с избыточными координатами
29	Составление систем дифференциальных уравнений на базе уравнений Лагранжа 2-го рода
30	Некоторые сведения из аналитической механики применительно к задачам колебаний механизмов и машин. Связи. Кинетическая и потенциальная энергия
31	Параметры диссипации и их приведение
32	Характеристики упругих элементов и их приведение
33	Приведение инерционных характеристик
34	Модель циклового механизма. Элементы динамической модели. Основные способы динамической схематизации. Классификация динамических моделей
35	Геометрические характеристики цикловых механизмов и их связь с кинематическими и динамическими характеристиками
36	Классификация механических колебаний
37	Основные этапы динамического расчета

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Типовые практико-ориентированные задания находятся в Приложении к данной РПД

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная Письменная Компьютерное тестирование Иная

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Время на подготовку к экзамену – 0,5 час.; экзамен проходит в учебной аудитории

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
Вульфсон И. И., Преображенская М. В.	Колебания в цикловых механизмах	СПб.: СПбГУПТД	2013	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1270
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
Анашкина Е. В., Марковец А. В.	Математическое моделирование	Санкт-Петербург: СПбГУПТД	2021	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2021179
Мазин Л. С., Марковец А. В.	Математические модели узлов машин и механизмов как объектов управления	Санкт-Петербург: СПбГУПТД	2020	http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2020288

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Реферативная и справочная база данных рецензируемой литературы Scopus [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scopus.com>

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft Windows Home Russian Open No Level Academic Legalization Get Genuine (GGK) + Microsoft Windows Professional (Pro – профессиональная) Russian Upgrade Open No Level Academic
MATLAB

Лицензия на право использования Учебного комплекта программного обеспечения Корпоративный справочник Материалы и Сортаменты

Лицензия на право использования Учебного комплекта программного обеспечения Пакет обновления КОМПАС-3D

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска

Приложение

рабочей программы дисциплины

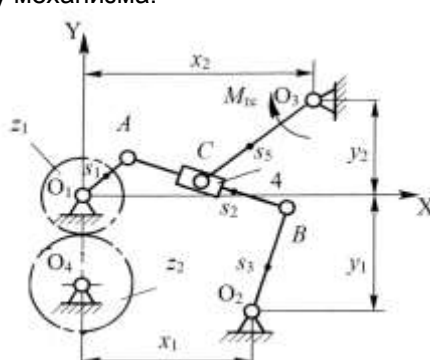
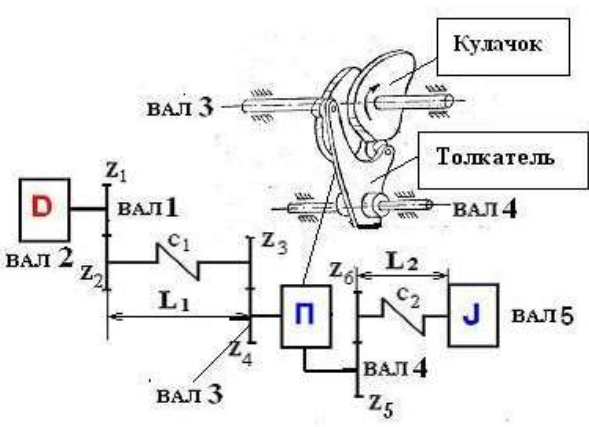
Математическое моделирование

наименование дисциплины

по направлению подготовки
наименование ОП (профиля):

15.04.02 – Технологические машины и оборудование
Компьютерный инжиниринг технологических машин

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

№ п/п	Условия типовых практико-ориентированных заданий (задач, кейсов)
Семестр 1	
1	<p>Задано: кинематическая схема исполнительного механизма машины, размеры звеньев, массы, моменты инерции звеньев и положение центров масс. Задано усилие полезного сопротивления, приложенного к выходному звену механизма.</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1) Определить приведенные к валу кривошипа моменты инерции и сил сопротивления. 2) Выполнить анализ динамики машины при учете идеальной характеристики двигателя, выбрать асинхронный электродвигатель и определить передаточное отношение редуктора. 3) Выполнить анализ динамики машины для статической и динамической характеристики двигателя в установившемся режиме работы. 4) Проанализировать режимы разгона машины.
Семестр 2	
2	<p>Задано: расчетная схема механизма, включающая зубчатые передачи и передаточный механизм с нелинейной функцией положения (кулачковый механизм); известно количество зубьев зубчатых передач, модуль, параметры закона движения кулачкового механизма, момент инерции выходного звена и приложенная к нему нагрузка.</p>  <p>Необходимо:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) выполнить синтез закона движения кулачкового механизма; 2) построить динамическую модель анализируемой механической системы, определить параметры элементов динамической модели; 3) Осуществить приведение полученной динамической модели к виду, необходимому для исследования вынужденных колебаний с постоянными параметрами при кинематическом возбуждении. Выполнить анализ полученной динамической и математической модели. Дать инженерные рекомендации по корректировке закона движения кулачкового механизма. 4) Выполнить анализ механической системы на базе динамической модели для исследования

вынужденных колебаний с переменными параметрами при кинематическом возбуждении.