

## **ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

### **Методические указания по самостоятельной работе**

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Теория механизмов и машин», включающего учебную программу, учебное пособие, лабораторный практикум, практикум, контрольно-измерительные материалы «Теория механизмов и машин. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Теория механизмов и машин. Презентационные материалы».

Приводятся рекомендации по самостоятельному изучению теоретического материала, дана методика реализации других видов работ, представлены указания по выполнению расчетно-графических работ и курсового проекта.

Предназначены для студентов направлений подготовки бакалавров 190100.62 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 190200.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» укрупненной группы 190000 «Транспортная техника и технологии».

## **Оглавление**

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Общие сведения .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Общая характеристика самостоятельной работы по дисциплине .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Компетентностный подход при проведении самостоятельной работы.....</b>	<b>8</b>
<b>4. Самостоятельное изучение теоретического курса .....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. Общие сведения .....</b>	<b>10</b>
<b>4.2. Содержание разделов и тем лекционного курса.....</b>	<b>10</b>
<b>Модуль 1. Механизмы с низшими кинематическими парами (семестр 4).....</b>	<b>10</b>
<b>Модуль 2. Механизмы с высшими кинематическими парами (семестр 5).....</b>	<b>16</b>
<b>5. Методика реализации других видов самостоятельной работы.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1. Самостоятельная работа по модулю 1 .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.1. Тематика и содержание расчетно-графических заданий .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.2. Задания для выполнения РГЗ .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1.3. Порядок выполнения расчетно-графических заданий .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.4. Указания по выполнению расчетно-графических заданий .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1.5. Оформление и подготовка к защите расчетно-графических заданий .</b>	<b>42</b>
<b>5.1.6. Процедура получения зачета .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2. Самостоятельная работа по модулю 2 .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.1. Тематика курсового проекта .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2.2. Содержание курсового проекта .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2.3. Рекомендуемый порядок выполнения курсового проекта .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.4. Требования к оформлению курсового проекта .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.5. Процедура защиты курсового проекта .....</b>	<b>54</b>
<b>6. Реализация графика самостоятельной работы .....</b>	<b>56</b>
<b>7. Методика применения кредито-рейтинговой системы.....</b>	<b>58</b>
<b>8. Методика проведения промежуточной аттестации по дисциплине .....</b>	<b>61</b>

<b>9. Учебно-методические материалы по дисциплине .....</b>	<b>63</b>
Библиографический список, программное обеспечение, наглядные материалы.....	63
Материалы и технические средства обучения .....	64
<b>Приложения .....</b>	<b>65</b>
Приложение 1.....	65
Приложение 2.....	67
Приложение 3.....	68
Приложение 4.....	69
Приложение 5.....	70

## **ВВЕДЕНИЕ**

Организация учебного процесса по очной форме предполагает выделение на проведение аудиторных занятий более 50 % от объема часов, предусмотренных государственным образовательным стандартом для изучения дисциплины «Теория механизмов и машин» (ТММ). Основной целью аудиторных занятий является ознакомление и консультирование по наиболее сложным темам дисциплины, а также выявление уровня освоения материала дисциплины каждым студентом с последующей итоговой аттестацией. При этом до 50 % объема часов выделяется для работы студентов, направленной на самостоятельное освоение необходимого материала дисциплины ТММ и выполнение требуемых видов работ.

Дисциплина «Теория механизмов и машин» предполагает изучение основных методов и алгоритмов анализа и синтеза механизмов и машин, а также технических систем, разработанных на их базе. Основные положения и терминология дисциплины ТММ освещаются на лекционных занятиях, а практическое освоение и проработка полученных знаний осуществляется на практических занятиях и при выполнении лабораторных работ.

Особое внимание сосредотачивается на выполнении расчетно-графических заданий (РГЗ) и курсового проекта. РГЗ и курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению теоретических знаний, развивает творческую инициативу и самостоятельность, повышает интерес к изучению дисциплины и прививает навыки научно-исследовательской работы. РГЗ выполняются применительно ко всем видам анализа и метрическому синтезу плоских рычажных механизмов, курсовой проект посвящен теме «Анализ и синтез механизмов технической системы».

Разделы РГЗ и курсового проекта охватывают анализ и синтез рычажных, зубчатых и кулачковых механизмов, являющихся составляющими более сложной технической системы. Выполненные РГЗ и курсовой проект студенты защищают преподавателю и сдают зачет или итоговый экзамен согласно модулю обучения.

## **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Данные методические указания призваны ознакомить студентов с видами самостоятельной работы, запланированными при изучении дисциплины «Теория механизмов и машин», и предназначены для подготовки бакалавров направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы», 190200.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (укрупненная группа 190000 «Транспортная техника и технологии»). Методические указания содержат краткое описание основных разделов РГЗ и курсового проекта и указания по их выполнению и оформлению, методику применения кредито-рейтенговой системы, методики проведения промежуточной аттестации по дисциплине.

## **2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

При изучении дисциплины «Теория механизмов и машин» предусмотрено выделение 2,65 (95) з. е. (ч) на самостоятельную работу студентов. При самостоятельном выполнении различных видов заданий студент учится принимать решения, изучать новый материал, а также работать с периодической литературой.

Программой предусмотрены следующие виды самостоятельной работы:

1. Самостоятельное изучение теоретического курса.
2. Выполнение и подготовка к защите расчетно-графических заданий.
3. Выполнение курсового проекта.

По каждому виду работы студент должен выполнить задания, приведенные в данных методических указаниях и согласованные с преподавателем. По выполненным заданиям оформляются отчеты в соответствии с предъявляемыми требованиями и сдаются преподавателю в соответствии с графиком самостоятельной работы.

Объем дисциплины и виды учебной работы приведены в [табл. 1](#).

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего зачетных единиц (часов)	Семестр	
		4	5
Общая трудоемкость дисциплины	5 (180)	1,97 (71)	3,03 (109)
Аудиторные занятия:			
лекции	2,35 (85)	0,94 (34)	1,41 (51)
практические занятия (ПЗ)	0,94 (34)	0,47 (17)	0,47 (17)
семинарские занятия (С3)	—	—	—
лабораторные работы (ЛР)	0,47 (17)	—	0,47 (17)
другие виды аудиторных занятий	—	—	—
промежуточный контроль	—	—	—
Самостоятельная работа:			
изучение теоретического курса (ТО)	2,65 (95)	1,03 (37)	1,62 (58)
курсовый проект	1 (36)	0,5 (18)	0,5 (18)
расчетно-графические задания (РГЗ)	1,12 (40)	—	1,12 (40)
реферат	0,53 (19)	0,53 (19)	—
задачи	—	—	—
задания	—	—	—
другие виды самостоятельной работы	—	—	—
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачет, экзамен	Зачет	Экзамен

### **3. КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Дисциплина «Теория механизмов и машин» (ТММ) входит в цикл дисциплин, призванных обеспечить общетехническую подготовку бакалавров машиностроительных направлений, владеющих основами проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта механизмов и машин независимо от отрасли промышленности и транспорта. ТММ рассматривает общие методы и алгоритмы анализа и синтеза механизмов и машин, изучение которых преследует такие цели:

1) *использование знаний, полученных студентами при изучении естественнонаучных и инженерных дисциплин, таких как высшая математика, физика, теоретическая механика, информатика и др.;*

2) *предоставление знаний, необходимых для последующего освоения специальных дисциплин и дисциплин специализаций, предусмотренных государственным образовательным стандартом (ГОС);*

3) *формирование у будущих инженеров-механиков общетехнических, конструкторских и исследовательских навыков, а также ознакомление с общими методами анализа и синтеза механизмов и машин, применяемых при создании высокопроизводительных, высокотехнологичных, надежных и экономичных машин и систем, образованных на их основе.*

Дисциплина предусматривает формирование у будущих специалистов общетехнических, конструкторских навыков, а также навыков эксплуатации механических систем, применяемых в конкретных отраслях производства и транспорта в целом. В результате изучения дисциплины завершается и реализуется общетехническая подготовка студентов, создается база для усвоения дисциплин специализации.

Для приобретения умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности, изучение дисциплины «Теория механизмов и машин» преследует решение следующих задач:

1) *обучение общим методам и алгоритмам анализа и синтеза механизмов и систем, образованных на их основе, построения моделей, а также методам и алгоритмам описания структуры, кинематики и динамики типовых механизмов и их систем;*

2) *ознакомление с основными видами механизмов и машин, принципами построения структуры механизмов, машин и систем, образованных на их основе, с кинематическими и динамическими параметрами этих систем, а также освещение принципов работы отдельных видов механизмов и их взаимодействие друг с другом в составе машины или технической системы;*

3) *формирование навыков использования ЕСКД (единая система конструкторской документации) и стандартов, технической справочной литературы и современной вычислительной техники, а также универсальных и профессиональных компетенций, которыми должен обладать инженер в современных условиях.*

**В результате выполнения самостоятельной работы студент должен знать:**

- виды моделей сложных технических систем;
- принципы построения структур технических систем;
- правила изображения структурных и кинематических схем механизмов;
- общие (типовые) методы и алгоритмы анализа и синтеза механизмов и систем, образованных на их основе;
- виды анализа и синтеза механизмов и машин;
- методы и алгоритмы решения прикладных задач применительно к анализу и синтезу механизмов.

**В процессе работы студент должен уметь:**

- формулировать критерии и составлять модели сложных технических систем в зависимости от заданных условий;
- строить структуры технических систем;
- выбирать и применять общие (типовые) методы и алгоритмы анализа и синтеза механизмов и систем, образованных на их основе;
- составлять структурные и кинематические схемы механизмов;
- решать прикладные задачи анализа и синтеза механизмов;
- принимать решения применительно к анализу и синтезу механизмов и систем исходя из заданных условий;
- применять и соблюдать действующие стандарты, технические условия, положения и инструкции по оформлению технической документации;
- применять современную вычислительную технику.

**Он должен владеть:**

- методами построения моделей сложных технических систем;
- методами и алгоритмами построения структур технических систем;
- правилами изображения структурных и кинематических схем механизмов;
- общими (типовыми) методами и алгоритмами анализа и синтеза механизмов и систем, образованных на их основе;
- основами составления структурных и кинематических схем механизмов;
- методами и алгоритмами решения прикладных задач применительно к анализу и синтезу механизмов.

## **4. САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КУРСА**

### **4.1. Общие сведения**

При самостоятельном изучении теоретического курса студентам необходимо:

самостоятельно освоить и проработать темы теоретического курса в соответствии с учебной программой дисциплины;

основательно подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы;

Самостоятельная работа выполняется студентами на основе учебно-методических материалов дисциплины, приведенных в [п. 9](#). Самостоятельно изучаемые вопросы курса в последующем включаются в экзаменационные билеты.

Темы на самостоятельное изучение выдаются лектором потоков на лекционных занятиях в соответствии с графиком работ.

### **4.2. Содержание разделов и тем лекционного курса**

Теоретический курс дисциплины «Теория механизмов и машин» реализуется в соответствии со структурой, содержащей два модуля, двенадцать разделов и тем.

#### **Модуль 1. Механизмы с низшими кинематическими парами (семестр 4)**

##### **Тема 1. Технические системы. Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,11 з. е. (4 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).*

Инженерное проектирование. Понятие анализа и синтеза. Цель, задачи и основные разделы дисциплины. Техническая система и ее составляющие. Модель. Виды моделей и методы составления. Критерии и допущения при составлении моделей. Машины. Виды машин. Привода. Классификация приводов. Машинный агрегат. Машина-автомат. Механизмы и их виды. Типовые механизмы. Передаточное отношение. Передаточная функция. Коэффициент полезного действия. Элементы механизмов. Звенья. Виды звеньев. Кинематические пары и их виды. Кинематические цепи. Виды кинематических цепей. Структура механизмов и ее дефекты. Структурная схема. Механизмы с низшими кинематическими парами. Рычажные механизмы и их виды. Задачи структурного анализа рычажных механизмов. Подвижность механизмов. Структурные формулы. Состав структуры рычажных механизмов. Первичный механизм и структурные группы. Принцип образования структурных

групп. Виды структурных групп и их параметры. Маневренность пространственных рычажных механизмов.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 2, 5, 6, 7].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое «техническая система», и какие составляющие элементы технической системы вы знаете?
2. Дайте определение понятия «модель» технической системы. Какими критериями руководствуются при составлении моделей?
3. Что такое «машина» и какие виды машин вам известны?
4. Поясните принцип образования основных видов технических систем: привод, машинный агрегат и машина-автомат и дайте определения этих понятий.
5. Что такое «механизм» и какие виды механизмов вы знаете?
6. Дайте определение понятия «звено». Какие виды звеньев механизмов вам известны?
7. Что такое «кинематическая пара» и какие виды кинематических пар вы знаете?
8. Поясните отличия, а также достоинства и недостатки высших и низших кинематических пар?
9. Что такое «кинематическая цепь» и какие виды кинематических цепей вам известны?
10. Дайте определения понятий «типовой» и «идеальный» механизмы?
11. Что такое «структура» механизма и какие дефекты структуры механизмов вы знаете?
12. Дайте определение понятия «подвижность» механизма. Какие основные структурные формулы используются для ее определения?
13. Поясните состав структуры механизмов по Ассуру и дайте определения понятий «структурная группа» и «первичный механизм».
14. Как определяются класс, вид и порядок структурной группы?
15. Какие задачи решаются при выполнении структурного анализа плоских рычажных механизмов?
16. Как определяется подвижность пространственных рычажных механизмов?
17. Как определяется маневренность пространственных рычажных механизмов?

### **Тема 2. Синтез технических систем. Оптимизация при синтезе**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Синтез механизмов. Этапы синтеза. Структурный синтез. Метрический синтез. Цель и задачи метрического синтеза. Методы метрического синтеза

механизмов. Кинематическая схема. Критерии метрического синтеза. Условие проворачиваемости звеньев механизма. Качественные показатели рычажных механизмов: коэффициент полезного действия, ход механизма, коэффициент неравномерности средней скорости, угол давления, угол передачи. Методы синтеза. Масштаб и масштабный коэффициент. Частные случаи синтеза типовых рычажных механизмов. Оптимизация при синтезе механизмов. Оптимальный синтез по заданной функции положения.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 2, 5, 6, 7].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Поясните отличия этапов синтеза механизмов.
2. Как выполняется структурный синтез рычажных механизмов?
3. Как выполняется метрический синтез рычажных механизмов?
4. Охарактеризуйте качественные показатели рычажных механизмов.
5. Поясните отличия понятий «масштаб» и «масштабный коэффициент».
6. Дайте определения понятий «структурная» и «кинематическая схема» и поясните их отличия.

### **Тема 3. Кинематический анализ технических систем**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,11 з. е. (4 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Геометрические и кинематические параметры механизмов. Кинематический анализ. Цель и задачи. Аналитические, графические и графоаналитические методы. План положений механизма. Крайние (граничные) положения. Метод кинематических диаграмм. Графическое дифференцирование. Графическое интегрирование. Метод кинематических планов. План скоростей и его свойства. План ускорений и его свойства. Теорема подобия. Частные случаи кинематического анализа типовых рычажных механизмов.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 2, 5, 6].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие цели и задачи преследует кинематический анализ плоских рычажных механизмов?
2. Какие методы кинематического анализа механизмов вы знаете?
3. Поясните отличия графоаналитических методов кинематического анализа плоских рычажных механизмов.
4. Дайте определение понятия «план положений механизма» и поясните принцип его построения.
5. Как рассчитывается значение масштабного коэффициента плана положений механизма?
6. Какие положения выходного(ых) звена(ьев) называются «крайними» (граничными) положениями и как их определить?

7. Дайте определение понятий «коэффициент неравномерности средней скорости» и «ход механизма». Как определить их значения?
8. Поясните суть метода кинематических диаграмм.
9. Как определить значения масштабных коэффициентов осей времени, пути, аналогов скорости и ускорения?
10. Поясните суть и отличия графического дифференцирования и графического интегрирования.
11. Поясните суть метода кинематических планов.
12. Как построить план скоростей?
13. Как построить план ускорений?
14. Поясните принцип определения значений и направлений действия угловых скоростей звеньев механизма.
15. Поясните принцип определения значений и направлений действия угловых ускорений звеньев механизма.
16. Дайте формулировку теоремы подобия и поясните область ее применения?
17. В чем заключаются отличия метода кинематических диаграмм и метода планов?

#### **Тема 4. Динамика. Кинетостатический анализ технических систем. Силовой анализ**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,085 з. е. (3 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).*

**Динамика.** Цель и задачи. Динамические параметры. Основные понятия динамики: работа, энергия, мощность. Силовые факторы и их виды. Внешние силовые факторы. Внутренние силовые факторы. Теоретические силовые факторы. Теоретические силовые факторы для частных случаев движения звеньев. Динамические модели и их параметры. Методы обеспечения эквивалентности динамических моделей. Силовой анализ плоских механизмов. Цель и задачи. Методы силового анализа. Определение числа неизвестных при силовом анализе. Кинетостатический анализ структурных групп 2-го класса. Кинетостатический анализ первичного механизма. Теорема И. Е. Жуковского.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[5\]](#), [\[6\]](#).

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Поясните цели и задачи, решаемые в разделе динамика. Какие основные динамические параметры механизмов вы знаете?
2. Какие виды анализа механизмов раздела динамика вам известны?
3. Дайте определения понятия «динамическая модель». Какие методы обеспечения эквивалентности динамических моделей механизмов вы знаете?
4. Поясните принцип построения динамической модели, пригодной для выполнения силового анализа.

5. Дайте определения понятий «уравновешивающая сила» и «уравновешивающий момент пары сил».
6. Какие параметры динамической модели, пригодной для выполнения силового анализа, вам известны?
7. Поясните принцип построения динамической модели, пригодной для выполнения динамического анализа.
8. Дайте определения понятий «приведенная сила» и «приведенный момент пары сил».
9. Дайте определения понятий «приведенная масса» и «приведенный момент инерции».
10. Какие параметры динамической модели, пригодной для выполнения динамического анализа вам известны?
11. Запишите выражение для определения суммы мгновенных мощностей, развиваемых приводимыми силами, и поясните все составляющие этого выражения.
12. Представьте равенство для определения суммы кинетических энергий, развиваемых приводимыми силами, и поясните все составляющие этого равенства.
13. Чем отличаются динамическая модель механизма, пригодная для выполнения силового анализа, и динамическая модель механизма, пригодная для выполнения динамического анализа?
14. Расскажите классификацию силовых факторов, действующих на звенья механизмов.
15. Дайте определения «внешних» силовых факторов, действующих на звенья механизмов, и поясните, как определить их значения.
16. Дайте определения «внутренних» силовых факторов и поясните, как определить их значения и направления действия.
17. Дайте определения «теоретических» силовых факторов и поясните, как определить их значения и направления действия.
18. Поясните формулировку принципа Даламбера и область его использования.
19. Дайте определение теоремы И. Е. Жуковского и поясните область ее применения.

### Тема 5. Динамический анализ технических систем

Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).

Динамический анализ. Понятие цикла движения механизма. Рабочий и холостой ход. Режимы движения технических систем. Метод Виттенбауэра. Приведение силовых факторов. Приведение масс. Неравномерность хода технических систем. Причины неравномерности хода. Коэффициент неравномерности. Маховая масса и способы ее реализации. Определение закона

движения ведущего звена при различных режимах движения систем на основе диаграммы энергия–масса.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 6].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие режимы движения технической системы вы знаете?
2. Поясните суть метода приведения.
3. Объясните причины возникновения неравномерности движения ведущего звена механизма.
4. Каким образом возможно снизить неравномерность хода механизма?
5. Какой динамический параметр можно определить с помощью диаграммы энергия–масса?
6. Каким образом изменяются кинетическая энергия и отношение работ движущих сил и сил сопротивления при различных режимах движения механизма?
7. Каким образом и для каких целей реализуется в механизме маховая масса?
8. Какие параметры динамической модели, пригодной для выполнения силового анализа, вам известны?
9. Дайте определения понятия «динамическая модель». Какие методы обеспечения эквивалентности динамических моделей механизмов вы знаете?

### **Тема 6. Колебания в механизмах. Вибрации. Выбор типа привода**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Колебания в технических системах. Причины появления колебаний. Источники колебаний. Взаимодействие двух подвижных звеньев. Виды механических колебаний. Определение собственных частот колебаний технической системы. Линейные и нелинейные уравнения, описывающие движения звеньев технических систем. Вибрация и ее виды. Причины возникновения вибраций. Защита технических систем от вибрации: уравновешивание, балансировка и защита от внешних воздействий. Виброзащитные устройства: динамический гаситель, антивибратор и виброизолятор. Демпфирование технических систем. Типовые схемы, основные характеристики и область применения приводов. Выбор типа привода.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 6].

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие отрицательные явления возникают в механизме при наличии вибрации?

2. Назовите меры, позволяющие минимизировать влияние вибрации на работоспособность технической системы.
3. В чём заключается различие между линейными и нелинейными уравнениями движения звеньев механизма?
4. Объясните принципы работы виброзащитных устройств.
5. Назовите виды приводов, использующиеся в технических системах.
6. На каких этапах синтеза механизма применяется балансировка?
7. На каких этапах синтеза механизма применяется защита от внешних воздействий?
8. Как изменится уравнение движения технической системы при введении в её состав виброизолятора?

## **Модуль 2. Механизмы с высшими кинематическими парами (семестр 5)**

### **Тема 7. Введение в теорию высшей кинематической пары**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Введение в теорию высшей кинематической пары. Сопряженные или начальные поверхности. Теорема о высшей кинематической паре. Условие существования высшей кинематической пары. Полюс сопряжения (зацепления) и центроиды. Сопряженные или начальные профили. Основная теорема сопряжения (зацепления). Сопряженные или начальные профили. Передаточное отношение плоских механизмов с высшей кинематической парой. Механизмы с высшими кинематическими парами и их виды: фрикционные, с гибкими звеньями, мальтийские, поводковые, зубчатые, цвочные, кулачковые.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1, 6\]](#).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Дайте определение сопряженного профиля.
2. Какое ограничение на движение сопряженных профилей накладывает теорема о высшей кинематической паре?
3. Что такое полюс сопряжения?
4. Что такое центроида?
5. Назовите основное свойство теоремы зацепления.
6. Дайте определение механизма с высшей кинематической парой.
7. На какие группы делятся фрикционные механизмы? Приведите схемы данных механизмов.
8. За счёт чего в фрикционных механизмах осуществляется преобразование движения и силовых факторов?
9. Дайте определение механизма с гибкими звеньями. Приведите схемы данных механизмов.

10. Для чего предназначены зубчатые, цвочные и кулачковые механизмы?
11. Сколько звеньев составляют простой зубчатый механизм?
12. Поясните принцип работы и область применения мальтийских подковых механизмов.

### **Тема 8. Зубчатые механизмы. Назначение и область применения**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Зубчатые механизмы. Назначение и область применения. Редукторы и мультипликаторы. Особенности структуры простых и сложных зубчатых механизмов. Виды простых зубчатых механизмов. Прямозубые, косозубые и шевронные простые зубчатые механизмы. Звенья простых зубчатых механизмов: зубчатое колесо и шестерня. Пространственные механизмы с высшей кинематической парой: конические и червячные механизмы. Виды передаточных отношений. Структурный и кинематический анализ пространственных механизмов с высшей кинематической парой.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1, 6\]](#).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Для чего предназначены зубчатые механизмы, работающие в режиме редуктора или мультипликатора?
2. Как называется ведущее колесо в зубчатом механизме?
3. По каким признакам классифицируются простые зубчатые механизмы?
4. Дайте определение пространственного зубчатого механизма.
5. Какие виды пространственных зубчатых механизмов вы знаете?
6. Что называется прямым и обратным передаточным отношением?
7. В чём заключается особенность выполнения структурного анализа пространственного зубчатого механизма?
8. По каким зависимостям определяются прямое и обратное передаточные отношения в зубчатых механизмах?
9. Какие виды зубчатых механизмов в зависимости от расположения геометрических осей вы знаете?
10. Какие виды зубчатых механизмов в зависимости от формы начальных поверхностей вам известны?

### **Тема 9. Плоские зубчатые механизмы**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,11 з. е. (4 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).*

Плоские механизмы с зацеплением: цвочные, цилиндрические, торцевые, реечные. Структурный и кинематический анализ плоских зубчатых механизмов. Виды зацепления. Эвольвента окружности и ее свойства. Эвольвентное зацепление и его свойства. Геометрические параметры эвольвентных

зубчатых колес. Методы получения формообразующей поверхности профилей зубьев. Исходный контур и исходный производящий контур. Виды зубчатых колес. Интерференция зубчатых колес. Корректирование (модификация) зубчатых колес. Блокирующий контур. Качественные показатели зубчатых механизмов: коэффициент полезного действия, коэффициент перекрытия, коэффициент формы зуба, коэффициент удельного давления, коэффициент удельного скольжения.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе: [1, 2, 3, 6, 8, 9, 10].

### Контрольные вопросы и задания

1. Сколько концентрических окружностей принято различать на зубчатом колесе? Дайте и их определения.
2. Дайте определения понятий «головка зуба» и «ножка зуба» и приведите формулы для определения высот этих параметров.
3. В чём заключается различие между внутренним и внешним зацеплениями?
4. Что называется эвольвентой окружности?
5. Назовите достоинства эвольвентного зацепления.
6. Какие виды шага зубчатого колеса вы знаете? Приведите формулы для определения их величин.
7. Поясните взаимосвязь понятий «толщина зуба по делительной окружности», «окружной шаг» и «ширина впадины по делительной окружности», дайте определения и запишите формулы для расчета их значений.
8. Дайте определение понятия «угол профиля» и поясните, какие значения может принимать этот параметр.
9. Какие виды зубчатых колес вы знаете и как изменяются их геометрические параметры в зависимости от значения коэффициента относительного смещения?
10. Охарактеризуйте качественные показатели зубчатых механизмов.
11. Объясните суть интерференции зубчатых колёс.
12. Что называется блокирующим контуром и в каких целях он используется в проектных расчётах зубчатых передач?
13. Что называется углом перекрытия?
14. Какие отрицательные явления возникают при изготовлении формообразующих профилей зуба колеса?

### Тема 10. Сложные зубчатые механизмы

Трудоемкость лекционного курса – 0,085 з. е. (3 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).

Сложные зубчатые механизмы. Однорядные, многорядные, однопоточные и многопоточные механизмы с неподвижными геометрическими осями вращения колес. Структурный и кинематический анализ зубчатых механиз-

мов с неподвижными геометрическими осями колес. Эпциклические механизмы: планетарные и дифференциальные. Структурный и кинематический анализ эпциклических механизмов. Формула Виллиса. Метод обращенного движения. Симметричные и несимметричные, замкнутые и незамкнутые дифференциалы. Коробки скоростей и передач. Волновые механизмы.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[3\]](#), [\[6\]](#), [\[8\]](#), [\[9\]](#), [\[10\]](#).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Расскажите классификацию сложных зубчатых механизмов.
2. Дайте определение понятия «однорядный зубчатый механизм» и поясните последовательность выполнения структурного анализа.
3. Выразите передаточные отношения однорядного зубчатого механизма через числа зубьев колес, его образующих.
4. Поясните принцип и последовательность построения планов линейных и угловых скоростей для однорядного зубчатого механизма.
5. Дайте определение понятия «многорядный зубчатый механизм» и поясните последовательность выполнения структурного анализа.
6. Выразите передаточные отношения многорядного зубчатого механизма через числа зубьев колес, его образующих.
7. Поясните принцип и последовательность построения планов линейных и угловых скоростей многорядного зубчатого механизма.
8. Какие зубчатые механизмы являются однопоточными и почему?
9. Дайте определение понятия «многопоточный зубчатый механизм» и поясните последовательность выполнения структурного анализа механизма данного вида.
10. Выразите передаточные отношения многопоточного зубчатого механизма через числа зубьев колес, его образующих.
11. Поясните принцип и последовательность построения планов линейных и угловых скоростей многопоточного зубчатого механизма.
12. Дайте определение понятия «эпциклический зубчатый механизм». Какие механизмы данного вида вам известны?
13. Поясните отличия и сходства планетарных и дифференциальных механизмов.
14. В чем заключается сходство и отличие структур типовых планетарных механизмов?
15. Дайте определения звеньев типовых планетарных механизмов.
16. Поясните вывод формулы Виллиса на примере типовых планетарных механизмов и проиллюстрируйте возможность ее применения.
17. Выразите передаточные отношения двухрядного планетарного зубчатого механизма с одним внешним и одним внутренним зацеплением через числа зубьев колес, его образующих.

18. Дайте определение понятия «дифференциальный зубчатый механизм» и поясните последовательность выполнения структурного анализа механизмов данного вида.

19. Какие виды дифференциальных механизмов в зависимости от соотношения количества входных и выходных звеньев вам известны? Поясните их отличия?

20. Дайте определение понятия «коробка» и поясните принцип работы механизмов данного вида.

21. Поясните принцип работы, область применения волновых зубчатых механизмов и дайте определение механизмов данного вида.

### **Тема 11. Синтез зубчатых механизмов**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,055 з. е. (2 ч),  
самостоятельной работы – 0,056 з. е. (2 ч).*

Синтез зубчатых механизмов. Цель, задачи, этапы и условия синтеза зубчатых механизмов. Синтез простых зубчатых механизмов. Синтез сложных зубчатых механизмов с неподвижными и подвижными геометрическими осями. Условия синтеза планетарных механизмов. Синтез однорядных планетарных механизмов. Метод сомножителей. Оптимизация при синтезе зубчатых механизмов.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[3\]](#), [\[6\]](#), [\[8\]](#), [\[9\]](#), [\[10\]](#).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что называется синтезом зубчатых механизмов?

2. Какие этапы синтеза зубчатого механизма вы знаете?

3. Объясните суть основного условия синтеза зубчатых механизмов.

4. Объясните суть обязательного условия синтеза зубчатых механизмов.

5. Объясните суть желательного условия синтеза зубчатых механизмов.

6. Какие задачи решаются на каждом этапе синтеза зубчатого механизма?

7. Приведите пример синтеза простой цилиндрической передачи с внешним зацеплением.

8. Приведите пример синтеза простой цилиндрической передачи с внутренним зацеплением.

9. В чём заключается особенность синтеза сложных зубчатых механизмов с неподвижными осями колёс? Приведите пример.

10. В чём заключается особенность синтеза сложных зубчатых механизмов с подвижными осями колёс? Приведите пример.

11. Назовите семь условий синтеза планетарных механизмов.

12. Напишите условие сборки двухрядных планетарных механизмов через числа зубьев.

13. Напишите условие сборки однорядного планетарного механизма через радиусы колес.

14. В чём заключается условие сборки планетарного механизма?
15. В чём заключается условие соседства при синтезе планетарного механизма?
16. Объясните суть метода сомножителей.
17. С какой целью применяется оптимизация при синтезе зубчатых механизмов?

### **Тема 12. Кулачковые механизмы**

*Трудоемкость лекционного курса – 0,11 з. е. (4 ч),  
самостоятельной работы – 0,111 з. е. (4 ч).*

Кулачковые механизмы. Назначение и область применения. Виды кулачковых механизмов. Аксиальные и дезаксиальные кулачковые механизмы. Виды профилей кулачка. Способы замыкания элементов высшей кинематической пары. Структурный анализ типовых схем кулачковых механизмов. Основные параметры кулачковых механизмов. Фазы движения выходных звеньев. Кинематический анализ типовых схем кулачковых механизмов. Синтез кулачковых механизмов. Цель, задачи и этапы. Выбор законов движения ведомого звена. Исходный контур и его параметры. Угол давления. Диаграмма углов давления типовых схем кулачковых механизмов. Метрический синтез типовых схем кулачковых механизмов по допускаемому углу давления. Выбор радиуса ролика или рабочего участка криволинейной поверхности выходного звена кулачкового механизма.

Материал для изучения данных тем приведен в следующей литературе:  
[\[1, 2, 3, 6, 8, 9, 10\]](#).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что называется кулачковым механизмом?
2. Из каких звеньев состоит типовой кулачковый механизм? Дайте им определение.
3. Для чего в схему типового кулачкового механизма вводят дополнительное звено – ролик?
4. Дайте определение конструктивному и теоретическому профилям кулачка.
5. По каким признакам классифицируются кулачковые механизмы?
6. Назовите виды кулачковых механизмов по форме рабочей поверхности ведущего звена.
7. Назовите виды кулачковых механизмов по форме рабочей поверхности выходного звена.
8. Дайте определение аксиальному кулачковому механизму.
9. Объясните суть силового замыкания элементов высшей кинематической пары в кулачковом механизме.
10. Объясните суть геометрического замыкания элементов высшей кинематической пары в кулачковом механизме.
11. Какие фазы движения выходного звена кулачкового механизма вы знаете?
12. Дайте определения фазовому и профильному углам.

13. Что называется фазой сближения?
14. В чём заключается особенность структурного анализа кулачкового механизма с роликом?
15. На чём основан графоаналитический метод проведения кинематического анализа кулачкового анализа?
16. Назовите основные критерии при синтезе кулачковых механизмов.
17. Какие основные законы движения выходного звена кулачкового механизма вы знаете?
18. Что является исходным контуром кулачка?
19. Какими условиями пользуются при определении радиуса ролика в кулачковых механизмах?
20. Дайте определение дезаксиальному кулачковому механизму.

## **5. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ДРУГИХ ВИДОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **5.1. Самостоятельная работа по модулю 1**

Модуль 1. «Механизмы с низшими кинематическими парами». Трудоемкость – 1,03 (37) з. е. (ч).

Видами самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины ТММ по модулю 1 являются: освоение и проработка тем лекционного материала; выполнение и подготовка к защите расчетно-графических заданий (РГЗ). Формой итогового контроля по модулю 1 является зачет. Студенты получают зачет только после выполнения всех видов самостоятельной работы предусмотренных для модуля 1. Студенты, не выполнившие все виды самостоятельной работы, являются задолжниками и к видам самостоятельной работы по модулю 2 не допускаются.

В течение семестра до начала сессии возможна организация консультаций или дополнительных занятий. При этом консультации или дополнительные занятия со студентами проводятся только при выделении деканатами факультетов нагрузки (часов) для организации данного вида работы. В случае отсутствия нагрузки (часов) для организации проведения данного вида работы консультации и дополнительные занятия не проводятся, а студенты выполняют все виды работ самостоятельно.

#### **5.1.1. Тематика и содержание расчетно-графических заданий**

Выполнение, оформление и подготовка к защите расчетно-графических заданий (РГЗ) 1, 2. Трудоемкость – 0,53 (19) з. е. (ч).

Задания, необходимые для выполнения расчетно-графических заданий (РГЗ) 1, 2, выдает преподаватель, осуществляющий проведение практических занятий с указанием рекомендуемых литературных источников.

Расчетно-графические задания проводятся с целью практической проработки разделов дисциплины, что способствует закреплению, углублению и обобщению теоретических знаний, развивает творческую инициативу и самостоятельность, повышает интерес к изучению дисциплины и прививает навыки научно-исследовательской работы. Расчетно-графические задания по дисциплине выполняются каждым студентов в рамках самостоятельной работы по следующим тематикам:

РГЗ 1. «Структурный, кинематический анализ и метрический синтез плоских рычажных механизмов» состоит из аналитической (пояснительной записи) и графической частей.

Аналитическая часть представляется в виде пояснительной записи (не менее 12–15 с. формата А4) и состоит из следующих разделов:

1. Задание.
2. Структурный анализ плоского рычажного механизма.

3. Синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма. План положения механизма.

4. Кинематический анализ плоского рычажного механизма.

Графическая часть размещается на одном листе формата А1.

РГЗ 2. «Силовой анализ плоских рычажных механизмов» состоит из аналитической (пояснительной записи) и графической частей.

Аналитическая часть представляется в виде пояснительной записи (не менее 7–12 с. формата А4) и состоит из следующих разделов:

1. Задание.

2. Синтез динамической модели: определение значений и направлений силовых факторов, действующих на звенья плоского рычажного механизма.

3. Кинетостатический анализ плоского рычажного механизма.

4. Силовой анализ плоского рычажного механизма с использованием теоремы В. Н. Жуковского.

Графическая часть размещается на одном листе формата А1.

Каждое расчетно-графическое задание выполняется, оформляется отчет и защищается студентом самостоятельно.

При решении задач РГЗ рекомендуется придерживаться следующей последовательности выполняемых действий:

1) определить, к какому разделу дисциплины ТММ относится рассматриваемая задача;

2) повторить теоретический материал, соответствующий теме;

3) выписать предложенные в лекциях, рекомендованных учебниках и учебных пособиях алгоритмы решения задач на данную тему;

4) разобрать задачи, рассмотренные на практических занятиях и имеющиеся в учебниках, методических указаниях, содержащие примеры решения подобных задач;

5) записать краткое условие задачи;

6) определиться с методом или алгоритмом решения данной задачи;

7) выписать математическое выражение выбранного метода;

8) построить четкий рисунок-схему в выбранном масштабном коэффициенте, соответствующий условию задачи и выбранному методу или алгоритму решения;

9) запись уравнений и их решение приводить в буквенном виде, а численные значения подставлять в конечные выражения;

10) выписать ответ к задаче.

## 5.1.2. Задания для выполнения РГЗ

*Задание* выбирается так: последняя цифра индивидуального учебного шифра студента соответствует номеру темы, а предпоследняя цифра индивидуального учебного шифра студента – номеру варианта.

### Тема 0



Структурная схема плоского механизма

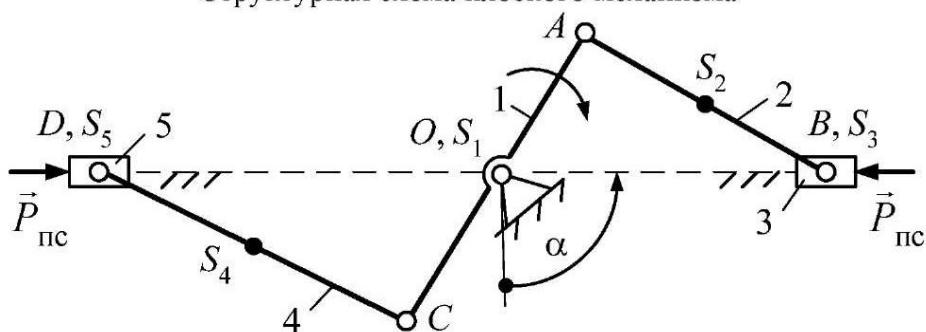


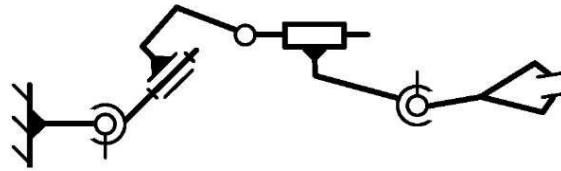
Рис. 1

Таблица 2

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,12	0,09	0,15	0,16	0,08	0,18	0,17	0,22	0,11	0,25
$l_{AB}$ , м	0,56	0,60	0,45	0,80	0,68	0,52	0,63	0,95	1,00	1,05
$l_{CO}$ , м	0,15	0,08	0,22	0,12	0,09	0,16	0,25	0,11	0,18	0,17
$l_{CD}$ , м	0,78	0,60	0,78	0,75	0,87	0,45	0,86	0,85	1,20	0,98
$l_{AS_2}$ , м	0,25	0,30	0,25	0,40	0,32	0,20	0,30	0,38	0,50	0,55
$l_{CS_4}$ , м	0,28	0,25	0,35	0,27	0,42	0,20	0,40	0,26	0,60	0,49
$\angle\alpha$ , °	90	180	225	45	0	135	270	90	180	315
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	30	35	28	29	30	28	32	27	25	33
$P_{pc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

# Тема 1

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

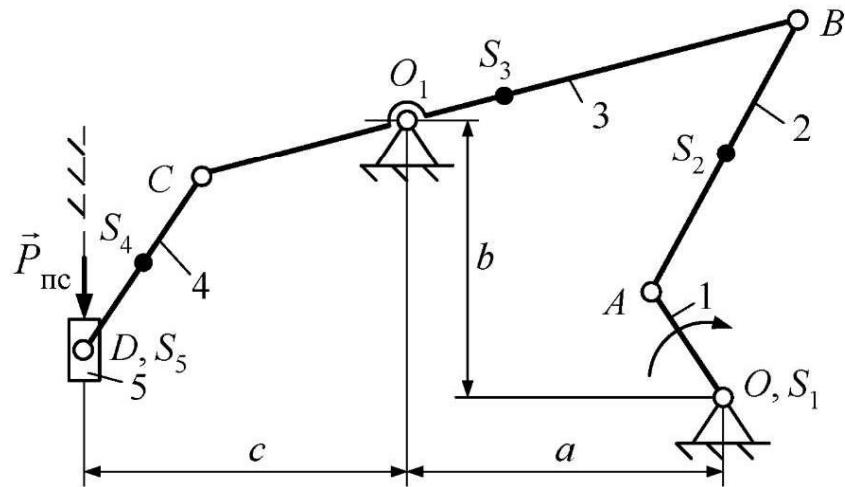


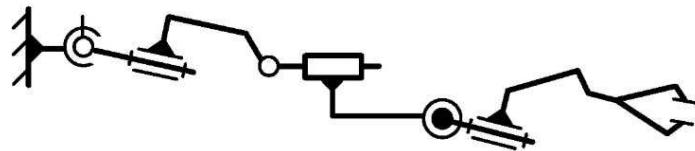
Рис. 2

Таблица 3

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,063	0,056	0,05	0,045	0,052	0,058	0,037	0,042	0,031	0,025
$l_{AB}$ , м	0,185	0,165	0,15	0,13	0,154	0,17	0,11	0,126	0,094	0,076
$l_{BO_1}$ , м	0,192	0,172	0,16	0,14	0,162	0,182	0,115	0,13	0,098	0,081
$l_{CO_1}$ , м	0,04	0,045	0,08	0,12	0,065	0,05	0,125	0,126	0,13	0,069
$l_{CD}$ , м	0,14	0,052	0,09	0,134	0,075	0,15	0,083	0,04	0,062	0,158
$a$ , м	0,153	0,136	0,12	0,108	0,126	0,140	0,088	0,10	0,075	0,06
$b$ , м	0,135	0,118	0,107	0,096	0,110	0,124	0,078	0,088	0,065	0,052
$c$ , м	0,068	0,078	0,135	0,205	0,110	0,085	0,21	0,215	0,22	0,10
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	29	30	28	30	32	27	25	30	31	28
$P_{\text{nc}}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 2

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

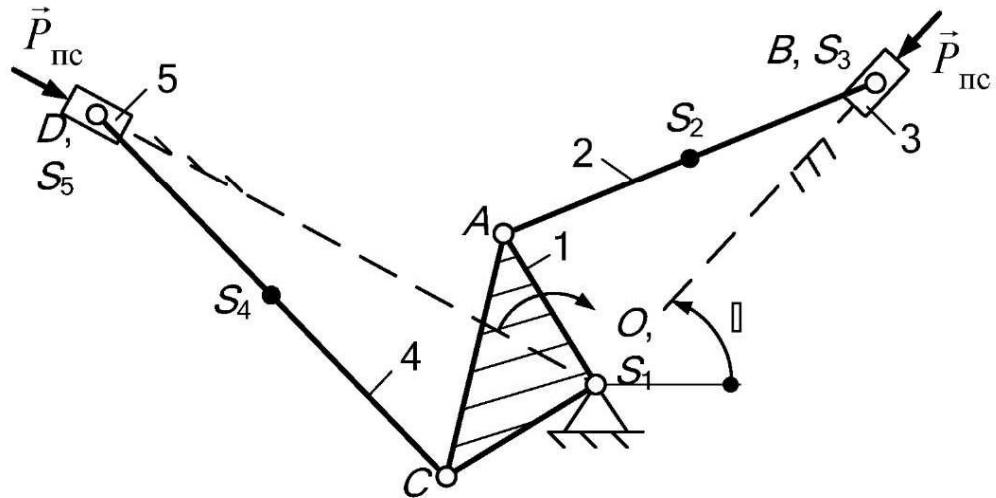


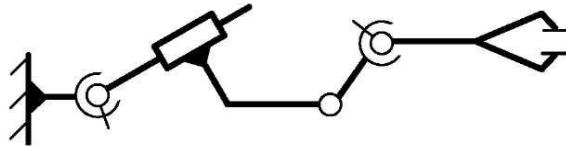
Рис. 3

Таблица 4

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,14	0,13	0,15	0,12	0,14	0,15	0,14	0,12	0,14	0,13
$l_{AB}$ , м	0,55	0,52	0,62	0,48	0,59	0,60	0,56	0,50	0,60	0,55
$l_{OC}$ , м	0,14	0,15	0,13	0,12	0,13	0,14	0,12	0,15	0,12	0,14
$l_{CD}$ , м	0,40	0,62	0,59	0,60	0,52	0,60	0,55	0,56	0,50	0,48
$l_{AS_2}$ , м	0,18	0,14	0,15	0,44	0,20	0,30	0,15	0,25	0,20	0,15
$l_{CS_4}$ , м	0,13	0,22	0,14	0,25	0,26	0,22	0,24	0,18	0,25	0,20
$\angle \alpha$ , °	45	135	315	225	45	225	135	315	45	225
$\angle AOC$ , °	90	80	85	95	100	83	95	88	98	90
$\angle BOD$ , °	90	85	95	90	87	98	100	93	90	105
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	25	20	38	22	18	22	24	36	20	23
$P_{pc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 3

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

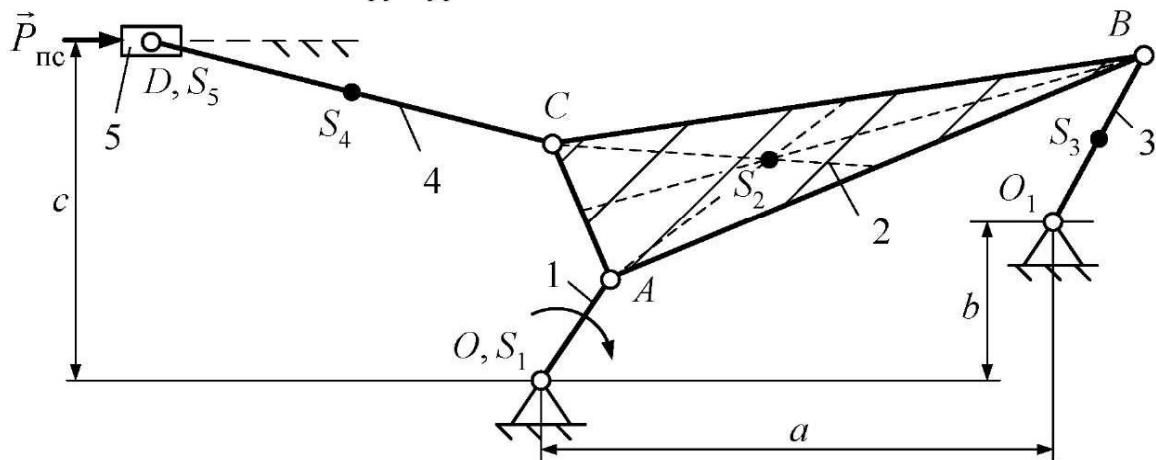


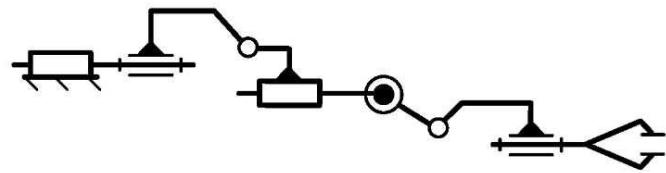
Рис. 4

Таблица 5

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,043	0,042	0,044	0,045	0,046	0,043	0,042	0,044	0,045	0,046
$l_{AB}$ , м	0,196	0,185	0,190	0,189	0,20	0,20	0,18	0,18	0,185	0,186
$l_{BO_1}$ , м	0,065	0,064	0,066	0,066	0,070	0,070	0,065	0,068	0,066	0,064
$l_{AC}$ , м	0,050	0,070	0,060	0,056	0,064	0,052	0,048	0,046	0,045	0,046
$\angle BAC$ , °	90	88	87	85	92	95	88	91	86	93
$l_{CD}$ , м	0,14	0,13	0,13	0,136	0,14	0,13	0,14	0,132	0,12	0,135
$a$ , м	0,173	0,16	0,17	0,165	0,168	0,173	0,163	0,170	0,176	0,162
$b$ , м	0,054	0,054	0,055	0,055	0,056	0,054	0,056	0,054	0,055	0,06
$c$ , м	0,116	0,110	0,120	0,112	0,114	0,110	0,116	0,108	0,10	0,104
$l_{BS_3}$ , м	0,020	0,035	0,022	0,025	0,024	0,035	0,23	0,28	0,30	0,32
$l_{CS_4}$ , м	0,070	0,065	0,045	0,055	0,045	0,065	0,07	0,065	0,07	0,04
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	28	30	29	31	25	30	27	28	30	32
$P_{nc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 4

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

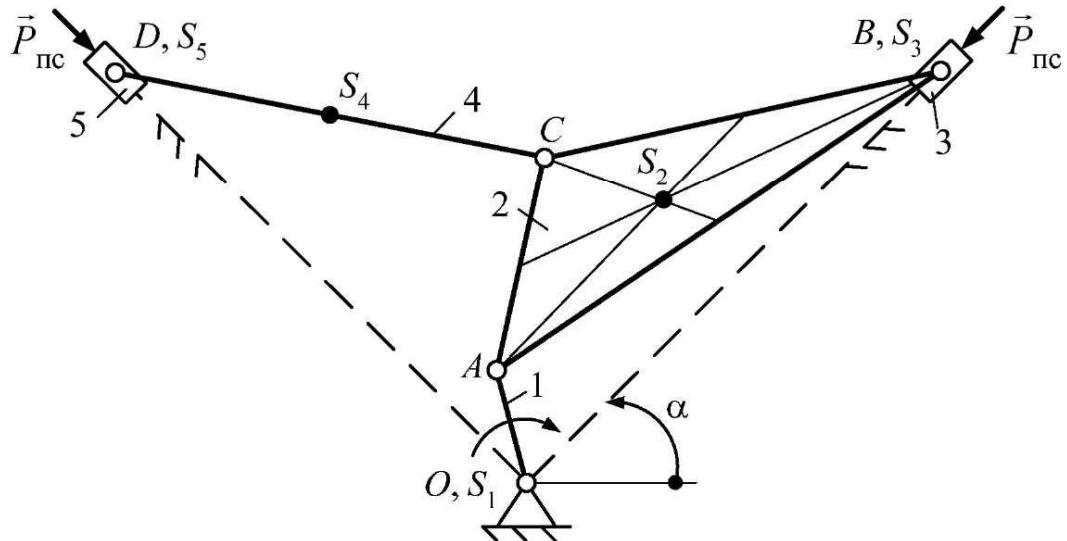


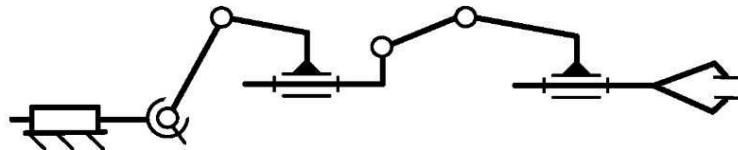
Рис. 5

Таблица 6

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09
$l_{AB}$ , м	0,32	0,30	0,36	0,28	0,33	0,29	0,36	0,31	0,34	0,38
$l_{AC}$ , м	0,18	0,22	0,45	0,42	0,28	0,30	0,25	0,35	0,20	0,27
$l_{BC}$ , м	0,28	0,24	0,25	0,24	0,22	0,32	0,23	0,25	0,28	0,30
$l_{CD}$ , м	0,46	0,52	0,53	0,38	0,43	0,45	0,50	0,48	0,40	0,44
$l_{CS_4}$ , м	0,14	0,18	0,14	0,21	0,20	0,19	0,22	0,17	0,20	0,20
$\angle \alpha$ , °	135	45	225	45	315	315	225	225	135	45
$\angle BOD$ , °	95	100	90	98	85	90	105	90	87	93
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	280	300	290	310	250	300	280	300	270	320
$P_{pc}$ , Н	400	300	425	280	370	380	515	520	275	360

## Т е м а 5

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

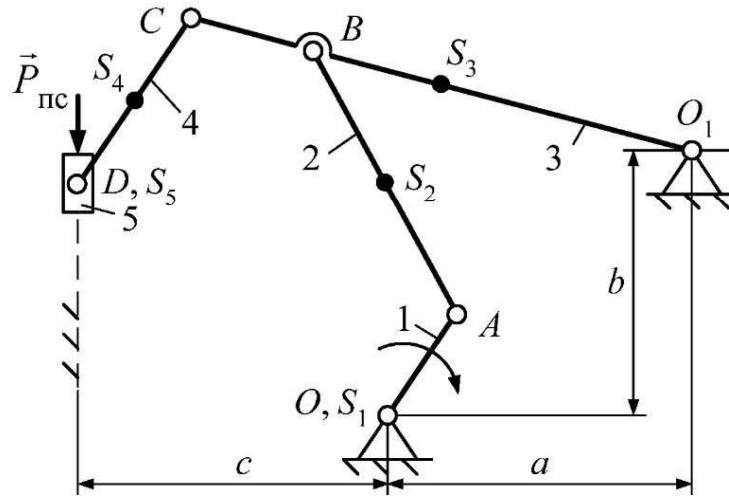


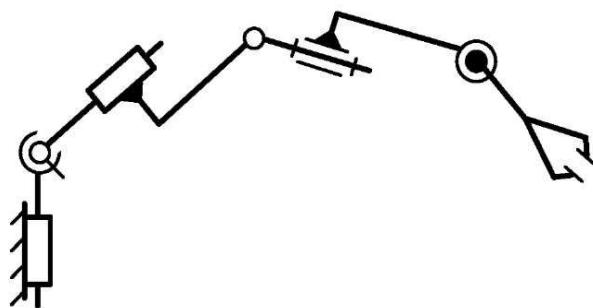
Рис. 6

Таблица 7

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,07	0,10	0,11	0,08
$l_{AB}$ , м	0,32	0,38	0,29	0,40	0,26	0,45	0,23	0,43	0,36	0,36
$l_{BO_1}$ , м	0,30	0,26	0,27	0,28	0,24	0,30	0,21	0,29	0,33	0,25
$l_{CO_1}$ , м	0,42	0,37	0,38	0,39	0,34	0,44	0,30	0,42	0,47	0,35
$l_{CD}$ , м	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,08	0,10	0,12	0,09
$a$ , м	0,16	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15	0,11	0,15	0,17	0,12
$b$ , м	0,29	0,37	0,26	0,39	0,23	0,44	0,20	0,42	0,32	0,35
$c$ , м	0,25	0,22	0,23	0,23	0,20	0,26	0,18	0,24	0,28	0,21
$l_{BS_2}$ , м	0,20	0,16	0,12	0,18	0,13	0,12	0,09	0,20	0,15	0,18
$l_{CS_3}$ , м	0,25	0,23	0,25	0,24	0,22	0,22	0,15	0,20	0,17	0,24
$l_{CS_4}$ , м	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02	0,06	0,03	0,05	0,07	0,04
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	280	300	290	310	250	300	270	280	300	320
$P_{nc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 6

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

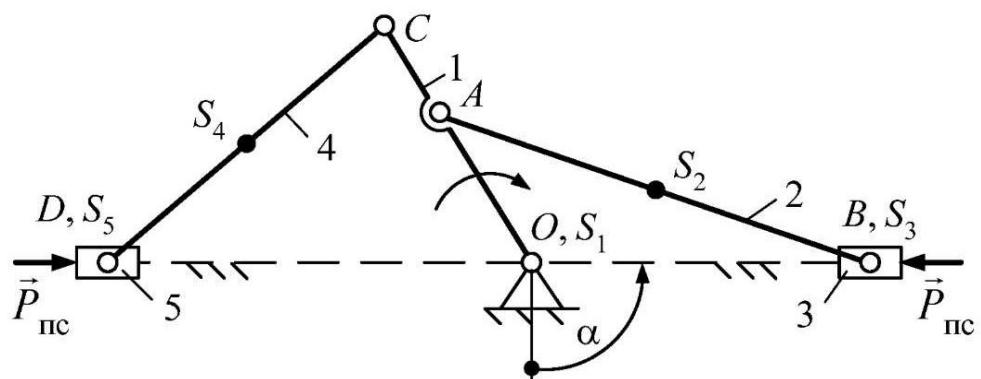


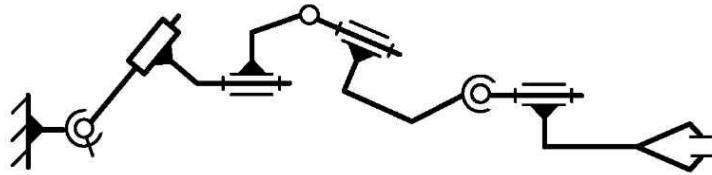
Рис. 7

Таблица 8

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04
$l_{AB}$ , м	0,20	0,24	0,18	0,16	0,22	0,24	0,15	0,20	0,22	0,17
$l_{AC}$ , м	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04
$l_{CD}$ , м	0,25	0,35	0,30	0,28	0,36	0,40	0,32	0,45	0,45	0,38
$l_{AS_2}$ , м	0,10	0,10	0,06	0,08	0,11	0,10	0,05	0,08	0,08	0,05
$l_{CS_4}$ , м	0,11	0,10	0,15	0,09	0,12	0,15	0,08	0,18	0,20	0,12
$\angle \alpha$ , °	90	180	225	45	0	135	270	90	180	315
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	280	300	290	310	250	300	280	300	270	320
$P_{nc}$ , Н	400	300	425	280	370	380	515	520	275	360

## Т е м а 7

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

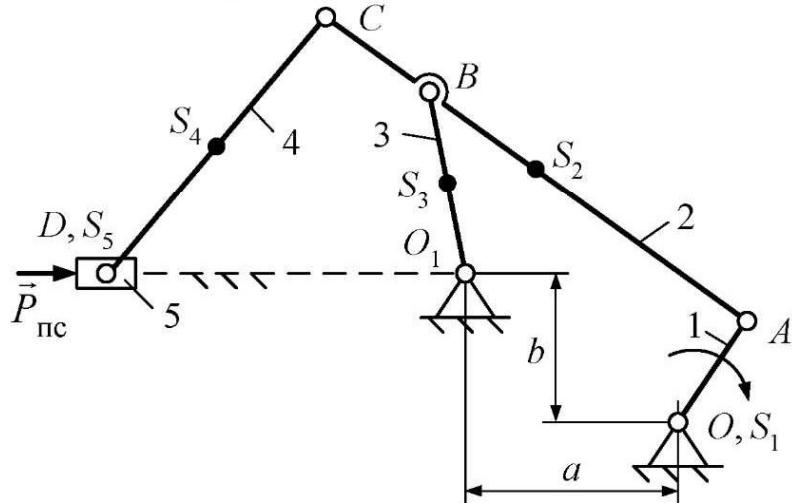


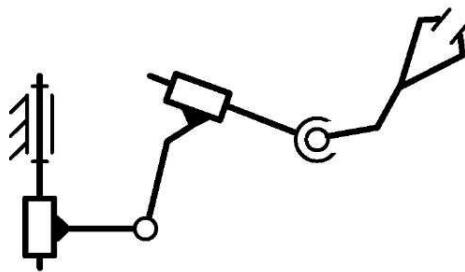
Рис. 8

Таблица 9

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,063	0,056	0,05	0,047	0,053	0,058	0,037	0,042	0,031	0,025
$l_{AB}$ , м	0,25	0,225	0,20	0,187	0,212	0,233	0,250	0,166	0,125	0,10
$l_{BO_1}$ , м	0,112	0,101	0,09	0,084	0,095	0,105	0,067	0,074	0,056	0,045
$l_{BC}$ , м	0,120	0,085	0,065	0,055	0,035	0,035	0,105	0,07	0,09	0,08
$l_{CD}$ , м	0,226	0,233	0,25	0,20	0,225	0,325	0,166	0,22	0,15	0,212
$a$ , м	0,15	0,135	0,12	0,112	0,127	0,140	0,09	0,10	0,075	0,06
$b$ , м	0,218	0,196	0,174	0,163	0,185	0,203	0,13	0,145	0,109	0,087
$l_{AS_2}$ , м	0,205	0,225	0,225	0,215	0,212	0,20	0,115	0,130	0,155	0,185
$l_{BS_3}$ , м	0,06	0,036	0,042	0,038	0,045	0,052	0,028	0,024	0,025	0,028
$l_{CS_4}$ , м	0,052	0,103	0,125	0,102	0,112	0,075	0,045	0,050	0,068	0,104
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	300	310	280	290	300	280	320	270	250	300
$P_{nc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 8

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

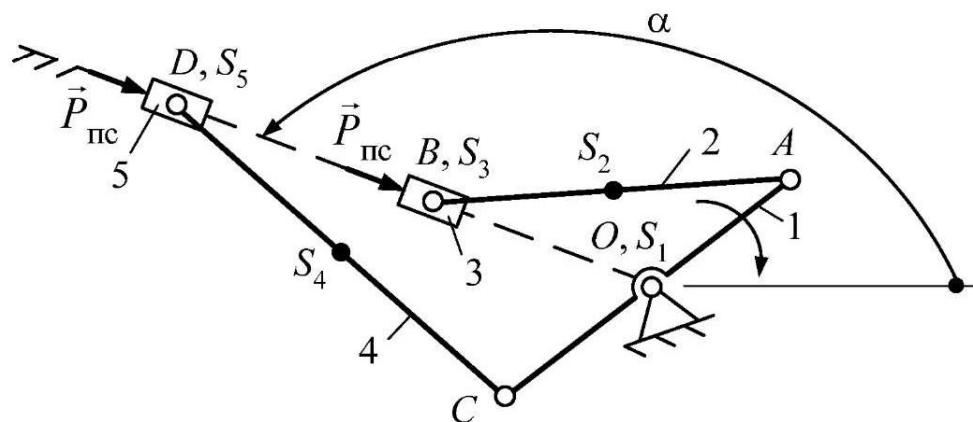


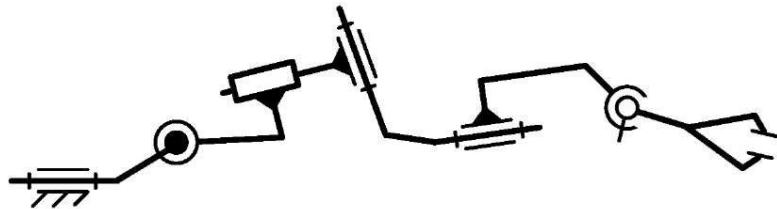
Рис. 9

Таблица 10

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,09	0,07	0,01	0,08	0,09	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08
$l_{AB}$ , м	0,28	0,22	0,26	0,28	0,33	0,29	0,26	0,21	0,24	0,25
$l_{OC}$ , м	0,04	0,036	0,05	0,15	0,168	0,165	0,045	0,035	0,164	0,15
$l_{CD}$ , м	0,15	0,114	0,125	0,564	0,66	0,59	0,123	0,105	0,58	0,50
$l_{AS_2}$ , м	0,14	0,15	0,20	0,12	0,17	0,15	0,12	0,08	0,17	0,17
$l_{CS_4}$ , м	0,05	0,06	0,08	0,25	0,33	0,35	0,06	0,05	0,22	0,18
$\angle \alpha$ , °	135	60	225	150	325	305	90	270	180	45
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	300	310	280	290	300	280	320	270	250	300
$P_{nc}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

## Т е м а 9

Структурная схема пространственного механизма



Структурная схема плоского механизма

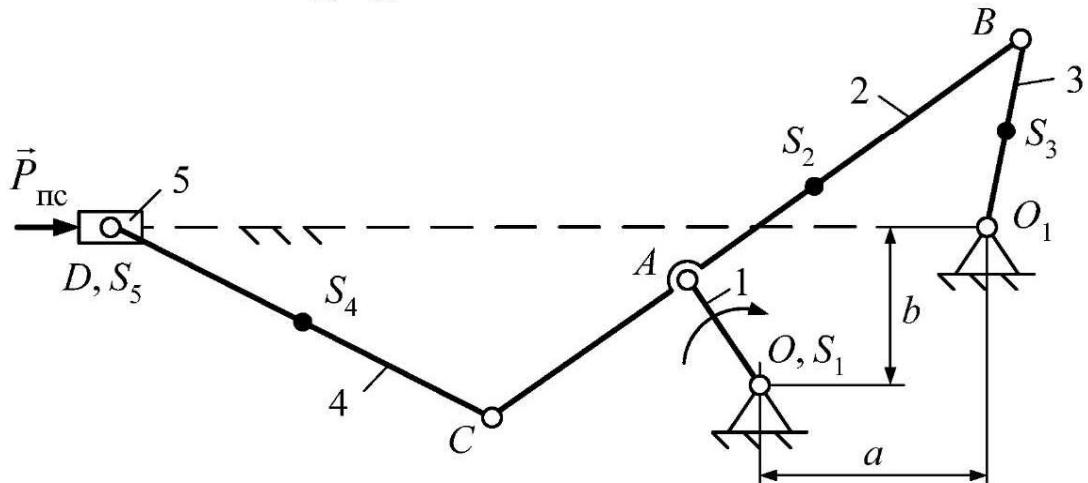


Рис. 10

Таблица 11

Параметры	Числовые значения по варианту									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_{OA}$ , м	0,01	0,012	0,009	0,014	0,018	0,021	0,007	0,023	0,025	0,008
$l_{AB}$ , м	0,032	0,038	0,029	0,042	0,055	0,065	0,023	0,071	0,078	0,025
$l_{BO_1}$ , м	0,022	0,025	0,021	0,029	0,038	0,043	0,015	0,047	0,053	0,017
$l_{AC}$ , м	0,032	0,045	0,04	0,025	0,03	0,03	0,029	0,035	0,052	0,026
$l_{CD}$ , м	0,065	0,075	0,062	0,09	0,11	0,13	0,052	0,142	0,155	0,058
$a$ , м	0,017	0,020	0,015	0,024	0,03	0,036	0,012	0,039	0,042	0,013
$b$ , м	0,012	0,014	0,010	0,016	0,021	0,025	0,008	0,027	0,03	0,01
$n_1$ , мин <sup>-1</sup>	300	400	280	290	300	280	320	270	250	300
$P_{\text{пс}}$ , Н	300	280	400	380	425	520	370	360	515	275

### **5.1.3. Порядок выполнения расчетно-графических заданий**

РГЗ 1 выполняется в следующей последовательности.

*Раздел 1. Структурный анализ плоского рычажного механизма:*

1) вычертить структурную схему механизма;

2) определить число, вид совершающего движения и количество вершин подвижных звеньев, а также выявить число, название, класс, подвижность, вид контакта и замыкания всех кинематических пар, в том числе разнесенных, результат представить в виде таблиц;

3) определить число и вид кинематической цепи, выявить количество элементов стойки (число присоединений подвижных звеньев к стойке);

4) выбрав соответствующую структурную формулу, определить подвижность (число или степень подвижности) механизма;

5) выявить число, класс, вид и порядок структурных групп звеньев, а также число и подвижность первичных механизмов (групп начальных звеньев);

6) записать формулу состава структуры и определить класс механизма;

7) провести проверку полученных результатов.

*Раздел 2. Синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма:*

1) выбрать масштабный коэффициент длин;

2) перевести все заданные геометрические параметры механизма, имеющие размерность длин, м, в масштабный коэффициент;

3) по полученным значениям в выбранном масштабном коэффициенте определить крайние (граничные) положения выходного(ых) звена(ьев);

4) считая одно из крайних положений начальным, построить план положений плоского рычажного механизма для двенадцати положений ведущего (ходового) звена;

5) определить коэффициент неравномерности средней скорости и ход механизма.

*Раздел 3. Кинематический анализ плоского рычажного механизма:*

1) определить характерные точки механизма;

2) выявить траектории движения всех характерных точек механизма;

3) составить векторные уравнения, характеризующие распределение скоростей между характерными точками механизма;

4) выбрать масштабный коэффициент скоростей;

5) решая векторные уравнения, построить план скоростей для заданного положения ведущего (ходового) звена;

6) определить значения скоростей характерных точек, а также величины и направления действия угловых скоростей всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (ходового) звена;

7) составить векторные уравнения, характеризующие распределение ускорений между характерными точками механизма;

8) выбрать масштабный коэффициент ускорений;

9) решая векторные уравнения, построить план ускорений для заданного положения ведущего (входного) звена;

10) определить значения ускорений характерных точек, а также величины и направления действия угловых ускорений всех звеньев механизма для заданного положения ведущего (входного) звена;

11) выявить значения углов положения ведущего (входного) звена, при которых скорость и ускорение характерной точки выходного звена достигает минимума и максимума.

РГЗ 2 выполняется в следующей последовательности.

*Раздел 1. Синтез динамической модели:*

1) определить значения и направления силовых факторов, действующих на звенья механизма, т. е. сил тяжести, сил и моментов пар сил инерции;

2) составить расчетную модель (схему), установив для механизма кинематическое равновесие;

3) построить динамическую модель плоского рычажного механизма для силового анализа.

*Раздел 2. Кинетостатический анализ плоского рычажного механизма:*

1) согласно составу структуры плоского рычажного механизма вычеркнуть в масштабном коэффициенте длин структурные группы звеньев и первичный механизм для заданного положения ведущего звена;

2) приложить к звеньям структурных групп и первичного механизма вектора сил и моменты пар сил, сохраняя их направление и линии действия согласно расчетной модели (схемы) механизма;

3) для структурных групп и первичного механизма установить состояния силового равновесия, приложив к соответствующим характерным точкам необходимые виды реакции связей кинематических пар;

4) составить уравнения равновесия структурных групп и первичного механизма;

5) определить степень неопределенности структурных групп и первичного механизма, выявив количество неизвестных силовых факторов;

6) раскрыть неопределенность структурных групп и первичного механизма;

7) построить планы сил для каждой структурной группы и первичного механизма;

8) выполнить расчет значений реакций связей кинематических пар;

9) определить значения уравновешивающей силы и уравновешивающего момента пары сил.

*Раздел 3. Силовой анализ плоского рычажного механизма с использованием теоремы В. Н. Жуковского:*

1) построить повернутый план скоростей;

2) используя теорему В. Н. Жуковского, перенести все силовые факторы с расчетной модели (схемы) в одноименные точки повернутого плана скоростей;

3) определить значение силового управляющего воздействия;

4) определить погрешность результатов расчетов, полученных по обоим выполненным видам силового анализа.

#### **5.1.4. Указания по выполнению расчетно-графических заданий**

При выполнении разделов расчетно-графических заданий необходимо использовать графоаналитические методы, изложенные в учебно-методических пособиях или методических указаниях, разработанных сотрудниками кафедры «Теория и конструирование механических систем» (ТиКМС), а также в фундаментальных учебниках по дисциплине «Теория механизмов и машин».

При выполнении разделов РГЗ 1 необходимо воспользоваться следующими рекомендациями.

*Раздел 1* предусматривает выполнение структурного анализа для заданных схем рычажных механизмов и подразумевает определение подвижности (числа степеней свободы) плоского механизма по формуле Чебышева. Под подвижностью понимается число обобщенных координат, однозначно определяющих положения звеньев механизма в пространстве или на плоскости в рассматриваемый момент времени.

Перед определением подвижности необходимо выявить и устраниТЬ избыточные связи и местные подвижности. При этом требуется выявить все элементы стойки и число подвижных звеньев, которые необходимо обозначить арабскими цифрами, начиная с нуля, а также осуществить обход кинематической цепи от ведущего звена с целью определения количества кинематических пар соответствующего вида и класса.

Ведущее звено на схемах механизмов выделяется стрелочкой, которая указывает на вид и направление движения данного звена. За стойку принимается звено механизма, условно принятое за неподвижное звено. Стойка в составе механизма всегда одна, однако в схеме она может быть представлена несколькими элементами: шарнирно-неподвижными опорами и направляющими ползунов. Результат анализа представляется в виде таблиц.

Дальнейший ход решения предполагает выполнение анализа состава структуры, что требует выявления количества структурных групп и числа первичных механизмов (групп начальных звеньев). Для этого, начиная с выходного звена, из схемы механизма выделяют по два звена. Если полученная группа звеньев, обладает подвижностью равной нулю, то она является структурной группой, для которой необходимо установить характеристики: класс, порядок, вид. При этом необходимо следить, чтобы остающиеся в схеме звенья не теряли связи с первичными механизмами (группами начальных звеньев).

Под первичными механизмами (группами начальных звеньев) понимаются элементарные механизмы, состоящие из звеньев, обладающих подвижностью большей нуля. В большинстве случаев первичные механизмы образованы стойкой и ведущим звеном (на схеме показано стрелочкой). Класс структурной группы определяется количеством звеньев и кинематических пар с учетом числа вершин наиболее сложного звена группы. Порядок структурной группы определяется количеством поводков, которыми присоединяется данная группа к стойке или иным звеньям с целью образования структуры механизма. Вид определяется в зависимости от структурной формулы группы.

*Раздел 2* посвящен синтезу кинематической схемы плоского рычажно-

го механизма, который осуществляется по заданным величинам геометрических параметров, где параметрами  $l$  обозначаются длины звеньев;  $\angle\alpha$  является углом, определяющим положение направляющих ползунов в рассматриваемой плоскости,  $n_1$  обозначает число оборотов кривошипа. Кинематическая схема строится с использованием условных обозначений, рекомендованных ГОСТ 2.703-68 в выбранном масштабном коэффициенте длин.

*Масштабный коэффициент* – это отношение действительной величины  $l$ , взятой в метрах, к длине отрезка  $|l|$ , измеряемого в миллиметрах и изображающего эту величину в составе кинематической схемы.

Масштабный коэффициент длин является обратной величиной общепринятому термину масштаба.

*Масштаб длин* – это отношение длины отрезка  $|l|$ , изображающего какую-либо величину в миллиметрах, к действительной величине  $l$  в метрах.

В рамках дисциплины ТММ принято кинематические схемы рычажных механизмов строить в масштабном коэффициенте кривошипа, м/мм:

$$\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|},$$

где  $l_{OA}$  – длина кривошипа, м;  $|OA|$  – отрезок, изображающий длину кривошипа в принятом масштабном коэффициенте длин, мм.

Синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма начинается с изображения неподвижных элементов, принадлежащих стойке: шарнирно-неподвижных опор и направляющих ползунов. Затем определяют крайние (граничные) положения выходного(ых) звена(ьев).

Под крайними (граничными) положениями подразумеваются такие положения выходных звеньев, при которых оси кривошипа и шатуна совпадают. Для каждого крайнего (граничного) положения строится кинематическая схема плоского рычажного механизма. Положение подвижных точек определяется методом засечек. Из найденных крайних положений выходного(ых) звена(ьев) выбирается начальное (нулевое). Начальным считается такое крайнее (граничное) положение выходного звена, из которого это звено будет двигаться против заданного направления действия силы полезного сопротивления  $P_{nc}$  (указано на схеме механизма).

Положения всех остальных звеньев механизма, соответствующие начальному положению выходного звена, также считаются начальными. Далее от начального положения кривошипа в направлении его вращения откладывается угол в  $30^0$ , соответствующий следующему положению кривошипа, относительно которого достраиваются структурные группы звеньев.

Процесс повторяется до полного завершения построения плана положений механизма. Используя план положений механизма, определяем значения основных показателей качества: коэффициент неравномерности средней скорости и ход механизма.

*Коэффициент неравномерности средней скорости* – это коэффициент, характеризующий отношение времени холостого хода  $T_{xx}$  к времени рабочего хода  $T_{px}$ :

$$k = \frac{T_{xx}}{T_{px}} = \frac{\pi - \theta}{\pi + \theta},$$

где  $\theta$  – угол между положениями шатуна в крайних положениях механизма.

*Ход механизма* – это расстояние между начальным и конечным положениями выходного звена.

*Раздел 3* предусматривает реализацию кинематического анализа плоского рычажного механизма, т. е. определение величин линейных скоростей и ускорений характерных точек механизма, а также выявление значения и направления угловых скоростей и ускорений звеньев для всех положений ведущего звена. При этом за характерные точки принимаются точки, обозначенные латинскими буквами и являющиеся центрами кинематических пар.

Для реализации данных задач необходимо предварительно построить планы скоростей и ускорений в соответствующих масштабных коэффициентах. Для этого, начиная с ведущего звена, составляются векторные уравнения скоростей и ускорений характерных точек, графическим решением которых являются планы скоростей и ускорений.

Вектора скоростей и ускорений характерных точек, расположенных между крайними точками звеньев, определяются по теореме подобия. Построение планов скоростей и ускорений необходимо произвести на формате А1 ниже плана положений механизма. Значения скоростей и ускорений характерных точек определяются как произведение отрезков с соответствующего плана и его масштабного коэффициента. Направления действия угловых скоростей и ускорений звеньев определяются по направлениям действия векторов относительных скоростей и тангенциальных ускорений. Результаты кинематического анализа представляются в виде таблиц.

При выполнении разделов РГЗ 2 необходимо воспользоваться следующими рекомендациями:

*Раздел 1* требует выполнения синтеза динамической модели плоского рычажного механизма для требуемого положения кривошипа, которое задается преподавателем или условием задания и выбирается по плану положений механизма, полученному в результате выполнения ГРЗ 1. Кинематическая схема плоского рычажного механизма в заданном положении выбирается по плану положений и выделяется более жирными линиями. С целью обеспечения эквивалентности динамической модели по отношению к состоянию механизма необходимо, воспользовавшись методом приведения, осуществить приведение сил и масс.

Для осуществления приведения сил необходимо составить расчетную модель (схему), установив для механизма квазистатическое равновесие с по-

мощью принципа Даламбера. При этом предполагается, что на звенья механизма действуют внешние силы: силы тяжести и сила полезного сопротивления  $P_{\text{пс}}$ , а также теоретические силовые факторы: силы инерции и моменты пар сил инерции. Направление действия вектора силы полезного сопротивления указано на схеме механизма, а значение этой силы задано условием задания. Значения и направления действия векторов остальных сил определяются студентом самостоятельно с учетом следующих рекомендаций.

Вектора сил тяжести прикладываются к центрам масс звеньев, которые направлены вертикально вниз. Положения центров масс звеньев задано условием задачи и на схеме обозначено латинскими буквами  $S_i$ , где индекс соответствует номеру звена механизма. При отсутствии в задании данных параметров центры масс звеньев считаются лежащими на середине их длин. Центры масс сложных звеньев (замкнутых треугольников) определяются посредством пересечения медиан.

Сила тяжести  $i$ -го звена,  $H$ ,

$$G_i = g \cdot m_i,$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го звена, кг;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Масса  $i$ -го звена (простого), кг,

$$m_i = k_i \cdot l_i,$$

где  $l_i$ ,  $k_i$  – длина и коэффициент удельной массы  $i$ -го звена.

Коэффициент удельной массы выбирается в зависимости от вида и служебного назначения звена из следующих интервалов:

для кривошипов – от 8 до 12 кг/м;

для шатунов – от 15 до 20 кг/м;

для коромысел и кулис – от 25 до 40 кг/м.

Масса ползуна, кг,

$$m_{\text{пп}} = (0,5 - 0,7) \cdot m_{\text{ш}},$$

где  $m_{\text{пп}}$ ,  $m_{\text{ш}}$  – соответственно, масса ползуна и масса шатуна, образующие кинематическую пару.

Масса сложного (составного) звена, кг,

$$m_{\text{к}} = \sum_{i=1}^j m_i,$$

где  $j$  – количество простых звеньев, составляющих сложное звено.

Сила инерции  $i$ -го звена,  $H$ ,

$$F_{ui} = m_i \cdot a_{si},$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го звена, кг;  $a_{si}$  – ускорение центра масс  $i$ -го звена,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Векторное уравнение имеет вид

$$\vec{F}_{ui} = -m_i \cdot \vec{a}_{si}.$$

Знак «–» в формуле означает, что вектор силы инерции  $i$ -го звена лежит на той же линии действия, что и вектор ускорения центра масс этого же звена и направлен противоположно направлению действия вектора ускорения центра масс. Вектора ускорения центров масс  $i$ -го звена определяются по плану ускорений на основании теоремы подобия.

Момент от пары сил инерции,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ,

$$M_{ui} = -J_{si} \cdot \varepsilon_i,$$

где  $J_{si}$  – момент инерции относительно центральных осей в сечении  $i$ -го звена,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $\varepsilon_i$  – угловое ускорение  $i$ -го звена,  $\text{с}^{-2}$ .

Знак «–» в формуле означает, что направление действия момента пары сил инерции  $i$ -го звена противоположно направлению действия углового ускорения этого звена.

Значение и направление угловых ускорений звеньев необходимо взять из решения четвертой задачи данной контрольной работы.

Момент инерции относительно центральных осей в сечении,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ , определяются следующим образом:

для кривошипа

$$J_{S_1} = \frac{m_1 \cdot l_{OA}^2}{6},$$

для  $i$ -го (простого) звена

$$J_{S_i} = \frac{m_i \cdot l_i^2}{12},$$

для сложного (составного) звена

$$J_{S_i} = \frac{\sum_{i=1}^t (m_i \cdot l_i^2)}{18},$$

где  $m_1$ ,  $m_i$ ,  $l_{OA}$ ,  $l_i$  – масса и длина кривошипа и  $i$ -го звена соответственно;  $t$  – количество стержней сложного (составного) звена.

*Раздел 2* предусматривает выполнение кинетостатического анализа плоского рычажного механизма для заданного положения ведущего звена и предусматривает определение значений реакций связей кинематических пар и значений уравновешивающей силы и уравновешивающего момента пары сил исходя из условия квазистатического равновесия.

Поиск значений требуемых параметров осуществляется с использованием метода приведения по расчетной схеме, построенной в предшествующем разделе РГЗ 2, который основан на использовании модели состава структуры сложного рычажного механизма. Для этого, начиная с выходного звена, последовательно выделяются структурные группы звеньев 4-5 и 2-3 в

соответствующем масштабном коэффициенте с сохранением линий и направлений действия всех силовых факторов приложенных к звеньям групп.

Отброшенные связи кинематических пар 0-5, 3-4, 0-3 и 1-2 заменяются реакциями связей. Составляются уравнения равновесия полученных плоских систем произвольных сил, устанавливается и раскрывается их статическая неопределенность. Определение оставшихся неизвестных систем осуществляется графоаналитическим методом при помощи планов сил.

Выявление значений уравновешивающей силы осуществляется для заданного положения кривошипа сложного рычажного механизма, выполненного в соответствующем масштабном коэффициенте, с сохранением линий и направлений действия всех силовых факторов, приложенных к этому звену. Отброшенные связи кинематических пар 0-1 и 1-2 заменяются реакциями связей. Составляется уравнение равновесия полученной плоской систем произвольных сил, устанавливается и раскрывается ее статическая неопределенность. Непосредственно определение линии и направления действия уравновешивающей силы осуществляется графоаналитическим методом при помощи плана сил.

*Раздел 3* посвящен силовому анализу плоского рычажного механизма с использованием теоремы В. Н. Жуковского для заданного положения ведущего звена и требует определения силового управляющего воздействия, под которым подразумевается уравновешивающий момент, действующий на кривошип механизма, находящегося в квазистатическом равновесии.

Для расчета значения уравновешивающего момента необходимо определить уравновешивающую силу при помощи повернутого плана скоростей. Построение повернутого плана скоростей производится в масштабном коэффициенте на формате А1, содержащем решения предшествующих разделов РГЗ.

### **5.1.5. Оформление и подготовка к защите расчетно-графических заданий**

Подготовка к защите расчетно-графического задания осуществляется самостоятельно каждым студентом с проработкой разделов лекционного материала, охватывающего тему данного РГЗ, и включает в себя выполнение РГЗ и оформление пояснительной записки в соответствии с требованиями. Пояснительная записка оформляется на листах белой бумаги форматом А4 и включает следующие разделы: титульный лист, задание, решение задач и пояснения к ним, содержащие необходимые уравнения, выводы соответствующих зависимостей, теоремы и расчеты, сопровождаемые требуемыми графическими иллюстрациями, рисунками или чертежами.

В конце пояснительной записки приводится список литературных источников, используемых студентом при выполнении РГЗ, в том числе дается библиография методических указаний и пособий. Графический материал выполняется на форматах А1 и подшивается к пояснительной записке после списка литературных источников. Текст пояснительной записки выполняется чернилами синего или черного цвета, графический материал – простыми ка-

рандасами при помощи чертежных принадлежностей. Использование цветных карандашей и фломастеров не допускается.

Оформление как тестовой части, так и требуемых графических построений, выполняется в соответствии с предъявленными требованиями. При оформлении пояснительной записи допускается полное или частичное использование ПЭВМ. При использовании ПЭВМ необходимо к пояснительной записке приложить CD-диск с электронной версией РГЗ. Использование ПЭВМ не является основанием для нарушения или не соблюдения предъявленных требований и положений ЕСКД.

РГЗ, оформленные небрежно и без соблюдения предъявляемых к ним требований, не рассматриваются и не засчитываются.

#### **5.1.6. Процедура получения зачета**

Формой итогового контроля по модулю 1 является зачет.

Подготовка к зачету осуществляется студентом самостоятельно и включает проработку теоретического материала дисциплины, алгоритмов и методов решение задач по темам 1–6.

Прием зачета проводится по перечню вопросов лектором потока в форме собеседования или тестирования, предусматривает решение практических задач или тестов и призван выявить уровень знаний студента по соответствующим разделам. Перечень вопросов, выносимых на зачет, определяется лектором потока.

Студенты получают зачет только после выполнения всех видов самостоятельной работы, предусмотренных для модуля 1. Студенты, не выполнившие все виды самостоятельной работы, являются задолжниками и к видам самостоятельной работы по модулю 2 не допускаются.

### **5.2. Самостоятельная работа по модулю 2**

Модуль 2. «Механизмы с высшими кинематическими парами». Трудоемкость – 1,62 (58) з. е. (ч).

Видами самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины ТММ по модулю 2 являются: освоение и проработка тем лекционного материала; выполнение и подготовка к защите курсового проекта (КП). Формой итогового контроля по модулю 2 является экзамен.

В течение семестра до начала сессии возможна организация консультаций или дополнительных занятий. При этом консультации или дополнительные занятия со студентами проводятся только при выделении деканатами факультетов нагрузки (часов) для организации данного вида работы. В случае отсутствия нагрузки (часов) для организации проведения данного вида работы консультации и дополнительные занятия не проводятся, а студенты выполняют все виды работ самостоятельно.

### 5.2.1. Тематика курсового проекта

Выполнение, оформление и подготовка к защите курсового проекта. Трудоемкость – 1,12 (40) з. е. (ч).

Выполнение курсового проекта по дисциплине «Теория механизмов и машин» преследует цели, направленные на закрепление, углубление и обобщение теоретических знаний, способствует развитию творческой инициативы и самостоятельности при принятии решений технических задач анализа и синтеза механизмов, а также повышению интереса к изучению дисциплины и получению навыков научно-исследовательской работы. Курсовой проект по дисциплине выполняется каждым студентов в рамках часов, выделенных для самостоятельной работы.

Темой курсового проекта является «Анализ и синтез механизмов технической системы» и предусматривает комплексное исследование основных элементов, входящих в состав более сложной технической системы ([рис. 11](#)).

Функциональная схема технической системы состоит из двух контуров – 1-2-3 и 1-4-5, включающих следующие элементы:

- 1 – энергетическую машину;
- 2 – преобразующий механизм;
- 3 – рабочую машину.
- 4 – преобразующий механизм;
- 5 – рабочую машину.

Энергетическая машина 1 является электродвигателем и предназначена для преобразования электрической энергии в механическую энергию, необходимую для приведения в движение ведущих звеньев преобразующих механизмов.

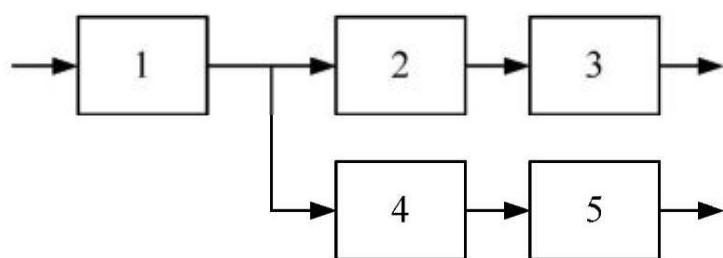


Рис. 11. Функциональная схема технической системы

Преобразующие механизмы 2 и 4 являются простым и сложным зубчатыми механизмами и предназначены для согласования выходных параметров энергетической машины 1 с входными параметрами рабочих машин 3 и 5.

Рабочая машина 3 содержит плоский рычажный механизм, призванный обеспечить реализацию требуемой передаточной функции.

Рабочая машина 5 реализована плоским кулачковым механизмом, предназначенным для воспроизведения заданного закона движения выходного звена.

Все механизмы структуры технической системы подобраны для двух направлений.

Во-первых, для направления 190100 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы» применительно к средствам автомобиле- и тракторостроения, т. е. схемы машин, механизмов и узлов, применяемые в техническом обеспечении, при эксплуатации и обслуживании средств автомобиле- и тракторостроения; схемам машин, механизмов узлов и агрегатов, определяющим функциональные и исполнительные узлы подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин и оборудования (подъемники прямого, бокового и обратного действия, опрокидыватели и др.).

Во-вторых, для направления 190200 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» применительно к средствам автомобильного хозяйства, т. е. схемы машин, механизмов и узлов, применяемые при эксплуатации и обслуживании транспортных и технологических машин и оборудования; схемам машин, механизмов узлов и агрегатов, определяющим функциональные и исполнительные узлы автомобилей и оборудования, используемого при обслуживании транспортных и технологических машин.

### **5.2.2. Содержание курсового проекта**

Курсовой проект по дисциплине «Теория механизмов и машин» состоит из аналитической и графической части. Аналитическая часть курсового проекта представляет собой расчетно-пояснительную записку (РПЗ), которая выполняется на стандартных листах писчей бумаги формата А4 и оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД предъявляемыми к текстовым документам. Разделы пояснительной записи должны содержать не только решение требуемых заданий, но и пояснения к ним, т. е. необходимые уравнения, выводы соответствующих зависимостей, теоремы и расчеты, сопровождаемые графическими иллюстрациями или рисунками.

В конце пояснительной записи приводится библиографический список литературных источников, использованных студентом при выполнении курсового проекта, в том числе дается библиография методических указаний и пособий.

Графическая часть курсового проекта выполняется на чертежной бумаге формата А1 с использованием чертежных принадлежностей. Масштабные коэффициенты выбираются в зависимости от габаритных размеров изображаемой моделей или расчетных схем.

Общими требованиями к содержанию расчетно-пояснительной записи курсового проекта являются: краткость и логическая последовательность изложения материала; точность формулировок, исключающих возможность неоднозначного толкования; наличие расчетных схем, эскизов, графиков; обоснование выбора материалов, расчетных коэффициентов и допускаемых напряжений со ссылкой на литературный источник.

Аналитическая часть представляется в виде пояснительной записи (не менее 45–60 с. формата А4) и состоит из следующих разделов:

**Задание.**

**Содержание.**

1. Описание состава структуры сложной технической системы.

2. Структурный анализ плоского рычажного механизма, являющегося рабочей машиной сложной технической системы.

3. Метрический синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма. Масштабный коэффициент. План положения механизма.

4. Кинематический анализ плоского рычажного механизма. Векторные уравнения, таблицы линейных и угловых скоростей звеньев механизма.

5. Кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма. Синтез динамической модели: определение сил и моментов пар сил инерции, силовой анализ структурных групп. Определение уравновешивающей силы с помощью теоремы И. Е. Жуковского. Определение величины уравновешивающего момента пары сил.

6. Динамический анализ плоского рычажного механизма. Определение величин фазовых углов рабочего и холостого ходов в цикле движения механизма. Построение динамической модели: определение приведенных моментов сил с помощью следствия из теоремы И. Е. Жуковского; определение приведенных моментов инерции; составление таблиц для построения диаграмм приведенных моментов пар сил, работ, разности работ (изменения кинетической энергии), приведенных моментов инерции, диаграммы энергия–масса, диаграммы изменения угловой скорости ведущего звена. Определение величины момента инерции маcовой массы.

7. Структурный анализ простого зубчатого механизма. Определение геометрических параметров и синтез эвольвентного зацепления зубчатого механизма, являющегося преобразующим механизмом сложной технической системы.

8. Определение типа сложного зубчатого механизма. Модификации кинематических пар и структурный анализ сложного зубчатого механизма. Метрический синтез кинематической схемы сложного зубчатого механизма. Подбор чисел зубьев по заданному передаточному отношению. Кинематический анализ сложного зубчатого механизма. Определение величин фактического прямого и обратного передаточных отношений и погрешности вычислений.

9. Структурный анализ плоского кулачкового механизма. Кинематический анализ плоского кулачкового механизма. Определение минимального значения радиуса исходного контура. Построение диаграммы углов давления. Метрический синтез профилей плоского кулачкового механизма.

Список использованных литературных источников (приводится перечень читательских адресов литературных источников, которыми воспользовался студент при выполнении разделов курсового проекта).

Приложение. CD-диск с электронной версией курсового проекта (прикладывается только в случае выполнения всего курсового проекта или отдельных его разделов с применением ПЭВМ).

Графическая часть состоит из трех листов формата А1:

Лист 1 формата А1	Кинематический и динамический анализы плоского рычажного механизма.
Лист 2 формата А1	Кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма.
Лист 3 формата А1	Анализ и синтез механизмов с высшими кинематическими парами.

Графический материал выполняется на форматах А1 и подшивается к пояснительной записке после списка используемых литературных источников.

### **5.2.3. Рекомендуемый порядок выполнения курсового проекта**

Выполнение разделов курсового проекта осуществляется в следующей последовательности.

*Описание задания для комплексного анализа машинного агрегата.*

Приводится описание составляющих машин и механизмов технической системы, а также кратко описывается принцип их работы и взаимодействия друг с другом. Задание оформляется на листах белой бумаги формата А4, содержащих соответствующую рамку (приложение), и входит в состав пояснительной записи.

*Раздел 1. Структурный анализ плоского рычажного механизма рабочей машины технической системы.*

*Раздел 2. Синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма.*

*Раздел 3. Кинематический анализ плоского рычажного механизма.*

*Раздел 4. Кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма.*

Пункты разделов 1–4 совпадают с пунктами соответствующих разделов при выполнении РГЗ (см. [п. 5.1.2](#)).

*Раздел 5. Динамический анализ плоского рычажного механизма:*

1) по двенадцати положениям механизма определить величины фазовых углов рабочего и холостого ходов в цикле движения механизма;

2) для каждого положения механизма построить рычаг Жуковского без инерционных составляющих и определить величины уравновешивающей силы;

3) определить величины приведенной силы и приведенных моментов сил для каждого положения механизма;

4) выбрать масштабные коэффициенты приведенных моментов сил и угла поворота ведущего звена;

5) построить диаграммы приведенных моментов сил сопротивления и движущих сил;

6) методом графического интегрирования диаграммы приведенных моментов сил построить диаграмму работ соответствующих сил;

7) выбрать масштабный коэффициент работ;

- 8) методом графического вычитания построить диаграмму изменения кинетической энергии;
- 9) определить среднюю величину приведенного момента сил;
- 10) по мощности на ведущем звене механизма и его частоте вращения подобрать марку электродвигателя.
- 11) по частоте вращения вала электродвигателя и частоте вращения кривошипа определить величину передаточного отношения передаточного механизма;
- 12) рассчитать величины приведенного момента инерции механизма для каждого его положения;
- 13) выбрать масштабный коэффициент приведенного момента инерции механизма;
- 14) построить диаграмму приведенного момента инерции;
- 15) методом графического исключения, значений угла поворота звена приведения, построить кривую зависимости изменения кинетической энергии от приведенного момента инерции (диаграмму энергия–масса);
- 16) провести касательные к диаграмме энергия–масса под соответствующими углами до пересечения с осью изменения кинетической энергии;
- 17) определить момент инерции маховой массы.

*Раздел 6. Синтез эвольвентного зацепления простого зубчатого механизма:*

- 1) по блокирующему контуру и исходным параметрам определить относительные коэффициенты смещения шестерни и колеса;
- 2) рассчитать по соответствующим формулам геометрические параметры зубчатых колёс;
- 3) выбрать масштабный коэффициент длин для построения эвольвентного зацепления и перевести все геометрические параметры зубчатых колёс в миллиметры с помощью данного коэффициента;
- 4) построить эвольвентное зацепление;

*Раздел 7. Синтез сложного зубчатого механизма:*

- 1) провести классификацию сложного зубчатого механизма;
- 2) вычертить структурную схему механизма;
- 3) определить число, вид совершающего движения, а также выявить число, название, класс, подвижность, вид контакта и замыкания всех кинематических пар, в том числе разнесенных, результат представить в виде таблиц;
- 4) выбрав соответствующую структурную формулу, определить подвижность (число или степень подвижности) механизма;
- 5) разложить схему механизма на отдельные ступени;
- 6) для ступеней, состоящих из типовых простых зубчатых механизмов, подобрать числа зубьев колёс, используя условия метрического синтеза;
- 7) для ступени, состоящей из планетарного механизма, подобрать числа зубьев, используя метод сомножителей;
- 8) определить диаметры каждого зубчатого колеса, входящего в состав сложного механизма;
- 9) подобрать масштабный коэффициент длин;

- 10) построить кинематическую схему сложного зубчатого механизма;
- 11) проставить на кинематической схеме характерные точки, для которых определяются величины линейных скоростей;
- 12) вычертить оси длин и линейных скоростей;
- 13) используя гомографии, построить план линейных скоростей;
- 14) вычертить ось угловых скоростей и построить план угловых скоростей, используя метод параллельного переноса линий, параллельных гомографиям каждого звена;
- 15) по плану угловых скоростей определить их величины для каждого звена механизма;
- 16) определить общее передаточное отношение механизма по плану угловых скоростей и сравнить полученное значение с заданным в исходных данных.

*Раздел 8. Синтез кулачкового механизма:*

- 1) провести классификацию кулачкового механизма;
- 2) вычертить структурную схему механизма;
- 3) определить число, вид совершающего движения, а также выявить число, название, класс, подвижность, вид контакта и замыкания всех кинематических пар, в том числе разнесенных, результат представить в виде таблиц;
- 4) выбрав соответствующую структурную формулу, определить подвижность (число или степень подвижности) механизма;
- 5) определить величины аналога пути для фазы удаления и фазы сближения, результаты представить в табличном виде;
- 6) определить величины аналога скорости для фазы удаления и фазы сближения, результаты представить в табличном виде;
- 7) определить величины аналога ускорения для фаз удаления и сближения, результаты представить в табличном виде;
- 8) выбрать масштабные коэффициенты аналогов пути, скоростей и ускорений;
- 9) выбрать масштабный коэффициент угла поворота кулачка;
- 10) построить последовательно друг под другом диаграммы аналогов пути, скоростей и ускорений;
- 11) построить диаграмму для определения радиуса исходного контура кулачка;
- 12) определить величину радиуса исходного контура и положение центра вращения кулачка;
- 13) определить величины углов давления для каждого положения механизма;
- 14) построить диаграмму углов давления;
- 15) выбрать масштабный коэффициент длин и построить рабочий и теоретический профили кулачка;

При выполнении разделов курсового проекта по дисциплине «теория механизмов и машин» необходимо придерживаться календарного графика, который составляется преподавателями, осуществляющими проведение практических и лекционных занятий, и выдается студентам под подпись. Содержание календарного графика выполнения курсового проекта приведено в [табл. 12](#).

Таблица 12

Учебная неделя	Наименование работы	Результат
1–2-я	Получение задания. Описание состава структуры сложной технической системы. Структурный анализ плоского рычажного механизма	Выполнены разделы расчетно-пояснительной записи 1, 2
3–4-я	Метрический синтез кинематической схемы плоского рычажного механизма. Масштабный коэффициент. План положения механизма	Выполнен раздел расчетно-пояснительной записи 3. Начато выполнение листа 1 графической части
5–6-я	Кинематический анализ плоского рычажного механизма. Векторные уравнения, таблицы линейных и угловых скоростей звеньев механизма	Выполнен раздел расчетно-пояснительной записи 4. Продолжено выполнение листа 1 графической части
7–8-я	Кинетостатический (силовой) анализ плоского рычажного механизма. Синтез динамической модели: определение сил и моментов пар сил инерции, силовой анализ структурных групп. Определение уравновешивающей силы с помощью теоремы И. Е. Жуковского. Определение величины уравновешивающего момента пары сил	Выполнен раздел расчетно-пояснительной записи 5 и лист 2 графической части
9–10-я	Динамический анализ плоского рычажного механизма. Определение величин фазовых углов рабочего и холостого ходов в цикле движения механизма. Построение динамической модели: определение приведенных моментов сил с помощью следствия из теоремы Жуковского; определение приведенных моментов инерции; составление таблиц для построения диаграмм приведенных моментов пар сил, работ, изменения кинетической энергии, приведенных моментов инерции, диаграммы энергия–масса. Определение величины момента инерции маховой массы	Выполнен раздел пояснительной записи 6. Завершено выполнение листа 1 графической части
11–12-я	Структурный анализ простого зубчатого механизма. Определение геометрических параметров и синтез эвольвентного зацепления зубчатого механизма	Выполнен раздел пояснительной записи 7. Начато выполнение листа 3 графической части

Учебная неделя	Наименование работы	Результат
13–14-я	Определение типа сложного зубчатого механизма. Модификации кинематических пар и структурный анализ сложного зубчатого механизма. Метрический синтез кинематической схемы сложного зубчатого механизма. Подбор чисел зубьев по заданному передаточному отношению. Кинематический анализ сложного зубчатого механизма. Определение величин фактического прямого и обратного передаточных отношений и погрешности вычислений	Выполнен раздел пояснительной записи 8. Продолжено выполнение листа 3 графической части
15–16-я	Структурный анализ плоского кулачкового механизма. Кинематический анализ плоского кулачкового механизма. Определение минимального значения радиуса исходного контура. Построение диаграммы углов давления. Метрический синтез профилей плоского кулачкового механизма	Выполнен раздел пояснительной записи 9. Завершено выполнение листа 3 графической части
17-я	Защита курсового проекта	Защищен курсовой проект. Получен один из видов допуска к экзамену

#### 5.2.4. Требования к оформлению курсового проекта

Расчётно-пояснительная записка должна выполняться в соответствии с действующим стандартом СТП ПИ СФУ. Данный стандарт является обязательным приложением настоящих методических указаний. В стандарте даны все необходимые материалы по оформлению проекта, включая титульный, второй и последующие листы, обозначению нумерации разделов проекта и составляющих чертежей, форм и заполнения спецификаций, форм технических заданий на проектирование, выполнению иллюстративной части расчёто-пояснительной записи.

В расчётно-пояснительной записке приводится оглавление, содержащее перечень этапов расчета. Текст пояснительной записи выполняется чернилами синего или черного цвета, графический материал – простыми карандашами при помощи чертежных принадлежностей. Использование цветных карандашей и фломастеров не допускается. С правой стороны каждого листа оставляют поле 40 мм, на которое выносят размеры и величины, принятые для конструирования и дальнейшего расчета, а также выписывают стандарт, нормаль, ссылку на литературный источник. С левой стороны оставляют поле 25 мм для брошюровки. Для каждого этапа расчета дают четко сформулиро-

ванный заголовок с указанием, какую деталь рассчитывают и на какой вид работоспособности.

Необходимые расчеты рекомендуется выполнять с использованием единиц измерения международной системы СИ: м, мм, Н, кН, МН, Нм, Па, МПа. Достаточная точность машиностроительных расчетов для сил – в десятке чисел Н, для моментов – в десятых долях чисел Нм и для напряжений – в десятых долях чисел МПа; при этом 0,5 и больше считается за единицу, а меньшая дробь отбрасывается. Для линейных размеров в миллиметрах берут только целые числа. Следовательно, при сантиметрах достаточно закончить первым десятичным знаком. Лишь в особых случаях нужна большая точность – до десятых и даже до сотых долей миллиметра, например, при конусах, винтовой нарезке и в профилировании зубьев. Все перечисленное относится только к расчету, а не к изготовлению и обработке, где требуемая точность выражается в десятых, сотых и в тысячных долях миллиметра.

При технических расчетах допускается использование постоянных величин:  $\pi = 3,14$ ;  $\pi^2 \approx 10$ ;  $g \approx 10$  (если ускорение силы тяжести  $g$ ,  $\text{м/с}^2$ );  $\pi/32 \approx 0,1$ ;  $\pi/64 \approx 0,05$ ;  $\pi/16 \approx 0,2$  и т. д.

Представление результатов расчетов рекомендуется осуществлять в виде, позволяющем облегчить их проверку самим автором или преподавателем. С целью избегания ошибок рекомендуется следующая форма: сначала должна представляться формула в символах, затем эту же формулу без алгебраических с цифровыми значениями составляющих параметров. После этого приводится результат вычисления. Например, при определении диаметра делительной окружности (поверхности) зубчатого колеса расчет следует представлять в таком виде:

$$d = m \cdot z = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мм},$$

где  $z$  – число зубьев колеса (количество);  $m$  – модуль зацепления, мм.

Несоблюдение указанного требования затрудняет чтение и проверку расчета и полученного результата, а также может привести к ошибке.

Выполняемые расчеты необходимо сопровождать теоретическими пояснениями с достаточно ясными заголовками в хронологическом порядке с представлением расчетных схем или графических построений. Расчетные схемы или графические построения выполняются с соблюдением положений ГОСТов и правил машиностроительного черчения. Параметры и условные обозначения на расчетных схемах или графических построениях должны быть представлены в тех же символах, которые содержатся в расчетных формулах.

При расчете постоянно необходимо следить за однородностью единиц измерения символов, содержащихся в формулах.

Необходимо отметить, что при решении задач разделов курсового проекта на первом месте всегда должен быть физический смысл рассматриваемого вопроса, а расчет является лишь вспомогательным средством. Увлече-

ние абстрактным расчетом в ущерб конструктивной стороне проектирования, выявляемой лишь с помощью чертежа, часто ведет к полной неудаче «точно рассчитанной» конструкции и к излишней трате труда, времени и средств при ее изготовлении и обработке. Приступить к выполнению графических построений необходимо только после получения достаточных данных.

Графические построения и расчеты должны производиться параллельно таким образом, чтобы расчет лишь немного опережал чертеж, иначе неизбежны ошибки, которые могут быть выявлены лишь впоследствии, что привлечет за собой большую потерю труда и времени. Поэтому следует придерживаться правила: все полученные расчетом размеры немедленно проверять путем нанесения их на чертеж. Выполнять графические построения необходимо сразу во всех проекциях, в противном случае это может повести к задержкам и ошибкам при вычерчивании. Число проекций должно быть минимальным, но с тем условием, чтобы ясность в чертежах устройства машины, а также ее узлов и деталей была полная.

Курсовой проект по дисциплине «Теория механизмов и машин» должен содержать в себе следующие виды документов:

- a) расчетно-пояснительную записку;
- б) графическую часть, состоящую из трех листов формата А1:
  - кинематического и динамического анализа плоского рычажного механизма;
  - кинетостатического (силового) анализа плоского рычажного механизма;
  - синтеза и анализа механизмов с высшими кинематическими парами.

Оформление как тестовой, так и графической части, выполняется в соответствии с предъявленными требованиями. При оформлении пояснительной записи допускается полное или частичное использование ПЭВМ. При использовании ПЭВМ необходимо к пояснительной записке приложить CD-диск с электронной версией курсового проекта. Использование ПЭВМ не является основанием для нарушения или несоблюдения предъявленных требований и положений ЕСКД.

Рекомендуется выполнять обе части курсового проекта в электронном виде с последующей распечаткой на принтере или плоттере: расчётно-пояснительной записи в системе «Word», графической части в системе «Auto-Cad», «КОМПАС», а также других пакетах автоматизированного проектирования и выполнять в присутствии преподавателя необходимую корректировку чертежей в электронном виде. Минимальный формат распечатки чертежей в данном случае должен быть не менее А1.

Курсовые проекты, оформленные не в соответствии с предъявляемыми требованиями, не рецензируются и возвращаются студенту для переоформления в соответствии с требованиями ЕСКД.

## **5.2.5. Процедура защиты курсового проекта**

Подготовка к защите курсового проекта осуществляется самостоятельно каждым студентом с проработкой лекционного материала, охватывающего тематику данного вида самостоятельной работы, и включает в себя выполнение курсового проекта и оформление пояснительной записи в соответствии с предъявленными требованиями.

Пояснительная записка оформляется на листах белой бумаги форматом А4. Разделы пояснительной записи должны содержать не только решение требуемых заданий, но и пояснения к ним, т. е. необходимые уравнения, выводы соответствующих зависимостей, теоремы и расчеты, сопровождаемые графическими иллюстрациями, рисунками или чертежами. В конце пояснительной записи приводится список литературных источников, использованных студентом при выполнении курсового проекта, в том числе дается библиография методических указаний и пособий.

Графический материал выполняется на форматах А1 и подшивается к пояснительной записи после списка используемых литературных источников. Текст пояснительной записи выполняется чернилами синего или черного цвета, графический материал – простыми карандашами при помощи чертежных принадлежностей. Использование цветных карандашей и фломастеров не допускается. Оформление как тестовой, так и графической части, выполняется в соответствии с предъявленными требованиями. При оформлении пояснительной записи допускается полное или частичное использование ПЭВМ. При использовании ПЭВМ необходимо к пояснительной записи приложить CD-диск с электронной версией курсового проекта. Использование ПЭВМ не является основанием для нарушения или несоблюдения предъявленных требований ЕСКД.

Защита курсового проекта проводится в форме собеседования, предусматривает решение практических задач или тестовых заданий и призвана выявить уровень знаний студента по тематике курсового проекта. Студенты, не выполнившие курсовой проект, к его защите не допускаются. Защита курсового проекта без пояснительной записи или графической части не допускается. Пояснительная записка и материал графической части, оформленные небрежно или не в соответствии с предъявляемыми требованиями, к защите не допускаются.

Защита курсового проекта проводится комиссией, формируемой из числа преподавателей, осуществляющих проведение практических и лекционных занятий.

## **6. РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

График самостоятельной работы соответствует программе и приведен в [табл. 13](#).

Самостоятельное изучение теоретического курса осуществляется в соответствии с графиком, а последовательность этапов выполнения РГЗ по модулю 1 дана в [табл. 13](#).

Таблица 13

Номер и тема РГЗ	Неделя выдачи	***Промежуточный контроль	Срок сдачи	Форма и вид принятия выполненных РГЗ
РГЗ 1 «Структурный, кинематический анализ и метрический синтез плоских рычажных механизмов»	*1–2-я учебные недели	5-я учебная неделя Выполнены разделы расчетно-пояснительной записи 1, 2 и на листе формата А1 графической части построен план положения механизма, начато построение планов скоростей	7–8-я учебные недели	Индивидуальная защита РГЗ в виде ответов на контрольные вопросы (по 1-2 вопроса на задание) в устной или письменной форме
РГЗ 2 «Силовой анализ плоских рычажных механизмов»	**9–10-я учебные недели	11-я учебная неделя Защищено РГЗ 1. Выполнен раздел расчетно-пояснительной записи 1 РГЗ 2 и на листе формата А1 графической части построена кинематическая схема механизма, планы скоростей и ускорений, составлена расчетная (схема) модель	16–17-я учебные недели	Индивидуальная защита РГЗ в виде ответов на контрольные вопросы (по 1-2 вопроса на задание) в устной или письменной форме

Примечания:

\*если студен по уважительной причине не смог вовремя получить задание, то необходимо подойти к преподавателю и взять задание не позднее 4-й недели. Если студент не взял задание по неуважительной причине или позднее 4-й недели, то общий рейтинг за самостоятельную работу будет снижен;

\*\*если студен по уважительной причине не смог вовремя получить задание, то необходимо подойти к преподавателю и взять задание не позднее 12-й недели. Если студент не взял задание по неуважительной причине не позднее 12-й недели, то общий рейтинг за самостоятельную работу будет снижен;

\*\*\*если на момент проведения промежуточного контроля студент не представил выполненные работы в требуемом объеме, то общий рейтинг за самостоятельную работу будет снижен.

Последовательность этапов выполнения курсового проекта по модулю 2 дана в [табл. 14](#).

Таблица 14

Тема курсового проекта	Неделя выдачи	**Промежуточный контроль	Срок сдачи	Форма и вид принятия
РГЗ «Анализ и синтез механизмов сложной технической системы»	*1–2-я учебные недели	5-я учебная неделя Выполнены разделы расчетно-пояснительной записки 1, 2, 3 и на листе 1 формата А1 графической части построен план положения механизма, начато построение планов скоростей.  11-я учебная неделя Выполнены разделы расчетно-пояснительной записки 1–6 и листы 1 и 2 формата А1 графической части	7–8-я учебные недели	Индивидуальная защита в виде ответов на контрольные вопросы (по 1 вопросу по основным разделам) в устной или письменной форме

Примечания:

\*если студент по уважительной причине не смог вовремя получить задание, то необходимо подойти к преподавателю и взять задание не позднее 4-й недели. Если студент не взял задание по неуважительной причине или позднее 4-й недели, то общий рейтинг за самостоятельную работу будет снижен.

\*\*если на момент проведения промежуточного контроля студент не представил выполненные работы в требуемом объеме, то общий рейтинг за самостоятельную работу будет снижен.

## **7. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРЕДИТО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ**

Организация учебного процесса дисциплины «Теория механизмов и машин» реализуется в соответствии с «Положением об организации учебного процесса в Сибирском федеральном университете с использованием системы зачетных единиц и балльно-рейтинговой системы» и характеризуется следующими особенностями:

- использованием Европейской системы переноса и накопления зачетных единиц (кредитов ECTS) и балльно-рейтинговой системы (БТС) для оценки успешного освоения студентами учебных дисциплин;
- использованием основных инструментов ECTS: учебного договора «Learning agreement», программы курсов (дисциплин) «Course catalogue», зачетной книжки «Transcript of records»;
- полной обеспеченностью учебного процесса всеми необходимыми методическими материалами в печатной и электронной формах: учебниками, методическими пособиями, учебно-электронными материалами, доступом к локальным и глобальным сетевым образовательным ресурсам;
- вовлечением в учебный процесс академических консультантов (тьютеров), содействующих студентам в формировании индивидуального учебного плана и контролирующих регистрацию учебных достижений;
- личным участием каждого студента в формировании своего индивидуального учебного плана на основе большей свободы выбора дисциплин.

Для рейтинговой оценки успешности обучения используется компьютерная программа для проведения контрольных мероприятий (тестирование). Рейтинговая система, построенная на модульной основе, использование электронных тренажеров и программ тестового контроля в процессе обучения активизирует самостоятельную работу, предоставляет возможность самоконтроля, позволяет корректировать учащимся свою работу на основе оценки результатов тестирования.

Для самооценки и самоконтроля студента используется график успешности, который можно применять с целью прогнозирования его учебной деятельности.

Основополагающими аспектами кредито-рейтинговой системы оценивания образовательных результатов учащихся являются:

- обязательность выполнения основных методологических положений рейтинговой системы, обязательных для студентов и преподавателей;
- гибкость рейтинговой системы, которая предоставляет возможность преподавателям применять различные приемы организации учебной деятельности, а студентам распределять время самостоятельной работы в соответствии со своими способностями и индивидуальными интеллектуальными предпочтениями;
- стабильность правил рейтинговой системы оценивания в течение семестра;

– открытость и всесторонняя информированность всех участников учебного процесса об организационных особенностях рейтинговой системы оценивания и результатах обучения на всех этапах изучения дисциплины.

Трудоемкость модулей и видов учебной работы в относительных единицах по дисциплине ТММ для студентов укрупненной группы 190000 «Транспортная техника и технологии» направлений подготовки бакалавров 190100.62 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы», 190200.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» представлена в прил. 1.

Показатели кредито-рейтинговой системы по всем видам самостоятельной работы приведены в [табл. 15](#).

Таблица 15

Номер и название модуля	Вид работы	Срок сдачи	Объем выполненной работы
Модуль 1 «Механизмы с низшими кинематическими параметрами»	Теоретический курс	5-я учебная неделя	Самостоятельно изучены темы теоретического курса дисциплины. Выполненный без ошибок, сданный и представленный отчет
		11-я учебная неделя	
		16-я учебная неделя	
	РГЗ	5-я учебная неделя	Выполнены разделы расчетно-пояснительной записи 1, 2 и на листе формата А1 графической части построен план положения механизма, начато построение планов скоростей
		11-я учебная неделя	Защищено РГЗ 1. Выполнен раздел расчетно-пояснительной записи 1 РГЗ 2 и листе формата А1 графической части построена кинематическая схема механизма, планы скоростей и ускорений, составлена расчетная (схема) модель
		16-я учебная неделя	Защищены РГЗ 1 и 2
	Промежуточный контроль	5-я учебная неделя	Успешное прохождение тестирования
		11 учебная неделя	Успешное прохождение тестирования
		16-я учебная неделя	Успешное прохождение тестирования
Модуль 2 «Механизмы с высшими кинематическими параметрами»	Теоретический курс	5 учебная неделя	Самостоятельно изучены темы теоретического курса дисциплины. Выполненный без ошибок, сданный и представленный отчет
		11-я учебная неделя	
		16-я учебная неделя	
	Курсовой проект	5-я неделя	40% выполнения курсовой работы
		11-я неделя	80 % выполнения курсовой работы
		16–17-я недели	Выполненный в срок и защищенный курсовой проект
	Промежуточный контроль	5-я неделя	Успешное прохождение тестирования
		11-я неделя	Успешное прохождение тестирования
		16-я неделя	Успешное прохождение тестирования

Объем и причины снижения зачетных единиц по каждому виду самостоятельной работы приведен в [табл. 16](#).

Таблица 16

Номер и на-звание модуля	Вид ра-боты	Величина сни-жения зачетных единиц, %	Причины снижения
Модуль 1 «Механизмы с низшими кинематическими параметрами»	Теоретиче-ский курс	10	Получение задания после срока
		10–40	Неправильно выполненные задания.
		5–20	Оставшиеся без ответа контрольные вопросы по темам
		10	Сдача заданий после срока
	РГЗ	5	Получение задания после срока
		5	Не полный объем выполненной работы на промежуточном контроле
		10	Неявка на промежуточный контроль
		5–10	Неправильно выполненные разделы курсового проекта
		5–30	Низкое качество выполнения и защиты курсового проекта
		5	Защита РГЗ после срока
		10	Повторная защита РГЗ
	Промежу-точный контроль	10	Не в срок выполненное тестирование, повторное тестирование (набранные баллы минус 10 % рейтинга)
Модуль 2 «Механизмы с высшими кинематическими параметрами»	Теоретиче-ский курс	10	Получение задания после срока
		10–40	Неправильно выполненные задания.
		5–20	Оставшиеся без ответа контрольные вопросы по темам
		10	Сдача заданий после срока
	Курсовой проект	5	Получение задания после срока
		5	Неполный объем выполненной работы на промежуточном контроле
		10	Неявка на промежуточный контроль
		5–10	Неправильно выполненные разделы курсового проекта
		5–30	Низкое качество выполнения и защиты курсового проекта
		5	Защита курсового проекта после срока
		10	Повторная защита курсового проекта
	Промежу-точный контроль	10	Не в срок выполненное тестирование, повторное тестирование (набранные баллы минус 10% рейтинга)

## 8. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточный контроль (ПК) проводится в соответствии с графиком самостоятельной работы.

При составлении банков тестовых заданий для самотестирования (репетиционного тестирования) и для контрольного тестирования используются по 40 % оригинальных тестовых заданий из общего банка тестовых заданий по дисциплине. 20 % заданий используется одновременно в тестах для контроля и самотестирования ([табл. 17](#)).

Таблица 17

Номер теста	Номера тем, входящие в ПК	Общее количество тестовых заданий, выносимые на ПК	Количество тестовых заданий в teste ПК
<i>Модуль 1</i>			
1 тест ПК	1, 2	78	56
2 тест ПК	3, 4	80	50
3 тест ПК	5, 6	74	55
<i>Модуль 2</i>			
1 тест ПК	7–9	101	80
2 тест ПК	10, 11	77	55
3 тест ПК	12	40	32

Структура банка тестовых заданий представлена в следующей таблице:

1	2	M:1	M:M	С	П	Д	Всего
1. Механизмы с низшими кинематическими параметрами	1.1. Технические системы. Механизмы и машины. Структурный анализ механизмов 1.2. Синтез технических систем. Оптимизация при синтезе	12 10	3 3	7 6	2 3	14 18	38 40
	1.3. Кинематический анализ технических систем 1.4. Динамика. Кинетостатический анализ технических систем. Силовой анализ 1.5. Динамический анализ технических систем 1.6. Колебания в механизмах. Вibration. Выбор типа привода. Динамика приводов	17 16 18 16	5 2 2 4	6 7 9 4	5 2 2 2	7 13 9 8	40 40 40 34
2. Механизмы с высшими кинематическими параметрами	2.1. Введение в теорию высшей пары. Основные понятия и определения 2.2. Зубчатые механизмы. Назначение и область применения 2.3. Плоские зубчатые механизмы 2.4. Сложные зубчатые механизмы 2.5. Синтез зубчатых механизмов 2.6. Кулакковые механизмы	13 14 13 15 15 12	2 3 2 7 2 6	4 8 7 4 12 12	0 2 2 6 7 2	11 9 11 7 2 8	30 36 35 39 38 40
Итого		171	41	86	35	117	450
Итого, %		38	9	19	8	26	100

Примечание: формы тестовых заданий (ТЗ): М:1 – выбор одного верного ответа из предложенных; М:М – выбор двух и более верных ответов из предложенных; С – ТЗ на установление соответствия; П – ТЗ на установление правильной последовательности; Д – ТЗ на дополнение.

Общее время на подготовку ответов при тестировании по модулю 1 составляет 60 мин, а по модулю 2 – в среднем 70 мин.

Результат тестирования определяется по проценту правильно решенных заданий от общего количества заданий в teste. Тест считается успешно пройденным, если студент правильно решил не менее 60 % заданий.

Значение рейтинга по итогам тестирования определяется по формуле

$$РТ = ЗЕ \cdot Д,$$

где РТ – рейтинг по итогам тестирования; ЗЕ – количество зачетных единиц соответствующего промежуточного тестирования; Д – доля решенных заданий.

Для самоконтроля студент выполняет тесты, структура которых представлена в [табл. 18](#).

Таблица 18

Номер темы		Номер банка тестовых заданий	Количество тестов в банке
Модуль 1	Тема 1	1 ТЗ	18
	Тема 2	2 ТЗ	16
	Тема 3	3 ТЗ	18
	Тема 4	4 ТЗ	9
		5 ТЗ	10
	Тема 5	6 ТЗ	10
		7 ТЗ	8
Модуль 2	Тема 6	8 ТЗ	15
	Тема 7	9 ТЗ	12
	Тема 8	10 ТЗ	15
	Тема 9	11 ТЗ	14
	Тема 10	12 ТЗ	17
	Тема 11	13 ТЗ	15
	Тема 12	14 ТЗ	16

К итоговой аттестации допускаются студенты, набравшие не менее 40 % от объема текущей аттестации и полностью выполнившие следующий объем работ:

*модуль 1*

- выполнение и защита всех расчётно-графических заданий;
- успешная сдача промежуточного тестирования;

*модуль 2*

- выполнение и защита курсового проекта;
- успешная сдача промежуточного тестирования.

Итоги промежуточного контроля выполнения студентом графика учебного процесса учитываются в рейтинге.

Трудоемкость модулей и виды учебной работы, графики учебного процесса и самостоятельной работы, образцы оформления титульного листа пояснительной записки и задания даны в [прил. 1, 2, 3, 4, 5](#).

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Библиографический список, программное обеспечение, наглядные материалы**

При изучении дисциплины ТММ рекомендуется использовать следующую основную и дополнительную литературу:

#### **Основная литература**

1. Теория механизмов и машин : учеб. пособие / М. А. Мерко, П. Н. Сильченко, А. В. Колотов [и др.]. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 199 с. – (Теория механизмов и машин : УМКД № 363-2007 / рук. творч. коллектива П. Н. Сильченко).
2. Теория механизмов и машин : практикум / М. А. Мерко, П. Н. Сильченко, А. В. Колотов, А. В. Колотов [и др.]. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 133 с. – (Теория механизмов и машин : УМКД № 363-2007 / рук. творч. коллектива П. Н. Сильченко).
3. Теория механизмов и машин : лаб. практикум / М. А. Мерко, П. Н. Сильченко, А. В. Колотов [и др.]. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 107 с. – (Теория механизмов и машин : УМКД № 363-2007 / рук. творч. коллектива П. Н. Сильченко).
4. Механика : практикум по решению задач / Е. В. Брюховецкая [и др.]. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 202 с.

#### **Дополнительная литература**

5. Фролов, К. В. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов. – М.: Высш. шк., 2003. – 496 с.
6. Смелягин, А. И. Структура механизмов и машин : учеб. пособие / А. И. Смелягин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 298 с.
7. Смелягин, А. И. Теория механизмов и машин : лаб. практикум / А. И. Смелягин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 116 с.
8. Попов, С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин / С. А. Попов, К. В. Фролов, Г. А. Тимофеев – М. : Высш. шк., 1999. – 351 с.
9. Смелягин, А. И. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование : учеб. пособие. / А. И. Смелягин. – М. : ИНФРА-М; Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 263 с.
10. Мерко, М. А. Теория механизмов и машин : организац.-метод. указания / сост. М. А. Мерко, П. Н. Сильченко, А. В. Колотов [и др.]. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Теория механизмов и машин : УМКД № 363-2007 / рук. творч. коллектива П. Н. Сильченко).
11. СТО 4.2-07-2008. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности / разраб. Т. В. Сильченко, Л. В. Белошапко, В. К. Младенцева, М. И. Губанова. – Введ. впервые 09.12.2008. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 47 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

**Трудоемкость модулей и виды учебной работы в относительных единицах по дисциплине  
«Теория механизмов и машин», для направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические машины  
и комплексы», 190200.62 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»  
факультета ФТ, курса 2, 3 на 4-й, 5-й семестры**

№ п/п	Название модулей дисциплины	Срок освоения модуля	Текущая работа (60 %)						Аттестация (40 %)
			Выполнение Посеща- емость лекций	Практи- ческие и за- щита ла- боратор- ных работ	Выполне- ние и за- щита кур- совый про- ектов	Подго- товка и сдача рефера- тов РГЗ	Реше- ние ком- плектов задач	Промежу- точный контроль	
1	«Теория ме- ханизмов и машин»	1–34-я недели	5,0 % 0,25	5,0 % 0,25	20 % 1,0	11 % 0,55	–	–	14 % 0,7
1.1	Модуль 1 «Механизмы с низшими ки- нематическими парами»	1–17-я недели	3,0 % 0,15	–	3,0 % 0,15	–	–	–	–
	Обязательный минимум для по- лучения зачета		Посеще- ние не менее 75 % лекций	Посеще- ние не менее 75 % за- нятий		Выпол- нение и защи- та РГЗ		Выпол- нение и защи- та РГЗ	Обязатель- ная сдача всех видов промежу- точного контроля

**Продолжение прил. 1**

№ п/п	Название модулей и дисциплины	Текущая работа (60 %)						Аттестация (40 %)					
		Посе- ща- емость лекций	Выполне- ние и за- щита ла- боратор- ных работ	Практи- ческие и семинар- ские за- нятия	Выполне- ние и за- щита кур- совых про- ектов	Подго- товка и сдача рефера- плектов	Реше- ние ком- плектов	Промежу- точный контроль задач					
1.2	Модуль 2 «Механизмы с высшими кинематиче- скими пара- ми»	18–34-я недели	2,0 % 0,1	5 % 0,25	2,0 % 0,1	20 % 1,0	—	—	6 % 0,3	—	—	25 % 1,25	60 % 3,0

ГРАФИК

учебного процесса и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория механизмов и машин» направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы», 190200.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» Политехнического института, 2-го курса на 4-й семестр

Условные обозначения: ТО – изучение теоретического курса; РГЗ – расчетно-графическое задание; ВРЗ – выдача расчетно-графического задания; СРГЗ – сдача расчетно-графического задания; КР – курсовая работа; ВКР – выдача курсовой работы; СКР – сдача курсовой работы; КП – курсовой проект; ВКП – выдача курсового проекта; СКП – сдача курсового проекта; ГККП – промежуточный контроль курсового проекта; РФ – реферат; ВРФ – выдача темы реферата; СРФ – сдача реферата; ЛР – лабораторные работы; ВЛР – выполнение лабораторной работы; ЗЛР – защита лабораторной работы; КН – контрольная неделя (актическая неделя); ВТ – вхождение в тестирование по дисциплине.

### Приложение 3

#### ГРАФИК учебного процесса и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория механизмов и машин» направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы», 190200.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» Политехнического института, 2-го курса на 5-й семестр

№ п/п	Наиме- нование дисци- плины	Се- мester	Число ауди- торных заня- тий	Форма кон- троля	Часов на са- мостоятель- ную работу	Недели учебного процесса семестра																		
						Все- го	По ви- дам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	Теория меха- низмов и ма- шин	5	51	Лекции – 17 Практи- ческие занятия – 17 Лабора- торные – 17	Экза- мен – 17	ТО – 18	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ПКПСКП

Условные обозначения: ТО – изучение теоретического курса; ВРЗ – выдача расчетно-графического задания; СРГЗ – сдача расчетно-графического задания; КР – курсовая работа; ВКР – выдача курсовой работы; СКР – сдача курсовой работы; КП – курсовое задание; ПКП – сдача курсового проекта; СКП – сдача курсового проекта; ВКП – выдача курсового проекта; ВЛР – лабораторные работы; ВЛР1 – выполнение лабораторной работы; ЗЛР – сдача лабораторной работы; ВЛР2 – выполнение лабораторной работы; ВЛР3 – сдача лабораторной работы; ВЛР4 – выполнение лабораторной работы; ЗЛР1 – сдача лабораторной работы; ЗЛР2 – выполнение лабораторной работы; ЗЛР3 – сдача лабораторной работы; ЗЛР4 – выполнение лабораторной работы; ПК – контрольная неделя (аттестационная неделя); КН – защита лабораторной работы; ВТ – входное тестирование по дисциплине.