


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан  
  
Ю.Н. Рыжих  
« 24 » 06 \_\_\_\_\_ 20 23 г.

Рабочая программа дисциплины

**Компьютерное моделирование и проектирование зубчатых передач**

по направлению подготовки

**15.04.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Моделирование робототехнических систем**

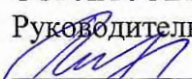
Форма обучения  
**Очная**

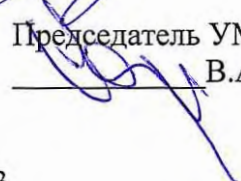
Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.02.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПЮП  
  
Г.Р. Шрагер

Председатель УМК  
  
В.А. Скрипняк

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способность и готовность разрабатывать математические модели составных частей объектов профессиональной деятельности методами теории автоматического управления.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Знать принципы построения моделей математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники);

ИПК 1.2 Уметь реализовывать модели средствами вычислительной техники и определять характеристики объектов профессиональной деятельности по разработанным моделям.

ИПК 1.3 Иметь навыки применения методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации в области машиностроения

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить методы проектирования зубчатых передач, применяемых в робототехнических устройствах.

– Научиться рассчитывать кинематические характеристики зубчатых передач для решения практических задач профессиональной деятельности при проектировании приводов промышленных роботов.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Третий семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Моделирование роботов и робототехнических систем.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 18 ч.

-лабораторные: 26 ч.

в том числе практическая подготовка: 26 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## 8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение в курс. Зубчатые передачи в приводах роботов и робототехнических системах.

Краткое содержание темы. Передаточные механизмы в приводах роботов: виды, типы, классификация.

Тема 2. Рядовые зубчатые механизмы. Цилиндрические зубчатые передачи. Кинематика. Методы расчета и проектирования. Пакет прикладных программ расчета и проектирования «APM WinMachine».

Краткое содержание темы. Особенности конструкций зубчатых передач (ЗП). Кинематические характеристики ЗП. Система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения «APM WinMachine».

Тема 3. Расчет цилиндрической зубчатой передачи.

Краткое содержание темы. Основные параметры цилиндрической зубчатой передачи. Выбор материалов и термической обработки зубчатых колес. Определение допустимых контактных напряжений и напряжений изгиба. Определение межосевого расстояния и модуля передачи. Определение числа зубьев шестерни и колеса.

Тема 4. Червячные передачи. Высокоточные червячные редукторы в промышленном роботе "Робин РСС-1 Сфера". Расчет червячной передачи.

Краткое содержание темы. Передачи червячные цилиндрические. Материалы червяка и червячного колеса. Допускаемые напряжения. Критерии работоспособности цилиндрической зубчатой передачи. Проектировочный расчет передачи. Проверочный расчет передачи.

Тема 5. Эпициклические зубчатые механизмы в приводах роботов. Кинематика планетарных механизмов.

Краткое содержание темы. Схемы планетарных зубчатых передач. Кинематические характеристики планетарных передач. Возможность сборки механизма.

Тема 6. Проектирование планетарных зубчатых передач промышленных роботов. Условия существования.

Краткое содержание темы. Обеспечение заданного передаточного отношения. Соосность центральных зубчатых колес. Возможность сборки механизма. Соседство смежных сателлитов. Правильное зацепление каждой пары зубчатых колес.

Тема 7. Расчет планетарных передач промышленных роботов.

Краткое содержание темы. Анализ расчета количества сателлитов по заданным числам зубьев колес планетарной передачи. Редуктор Давида. Выполнение условия соосности за счет подбора типа зубьев (прямозубая ступень, косозубая ступень), за счет подбора профиля зуба (корректированные колеса и некорректированные). Условие правильного зацепления. Коэффициент полезного действия планетарного механизма.

Тема 8. Подбор чисел зубьев планетарных механизмов. Метод генерального уравнения. Метод сомножителей.

Краткое содержание темы. Подбор чисел зубьев  $AA$ ,  $AJ$ ,  $JJ$  по методу сомножителей. Подбор чисел зубьев редуктора Джемса.

Тема 9. Современная система автоматизированного проектирования машин, механизмов и конструкций APM WinMachine.

Краткое содержание темы. APM WinMachine – проектировочный и проверочный расчет механических передач вращения.

Тема 10. Компоновка и расчет многоступенчатого привода промышленного робота. Проектная работа.

Краткое содержание темы. Проектная работа. Проектирование многоступенчатого механизма с планетарной передачей.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Экзамен во третьем семестре** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть представляет собой тест из 5 задач, проверяющих ИПК-1.1. Ответы на вопросы первой части даются путем выбора из списка предложенных. Некоторые задачи требуют вычисления. Тест проходит на платформе Moodle курс «Механика роботов, манипуляторов и мехатронных систем».

Вторая часть содержит два вопроса, проверяющие ИПК-1.2. Ответы на вопросы второй части даются письменно в развернутой форме.

Третья часть содержит 3 вопроса к задачам по первой части, проверяющие ИПК-1.3. Необходимо дать краткую интерпретацию полученных результатов решения задач.

### **Примерный перечень теоретических вопросов**

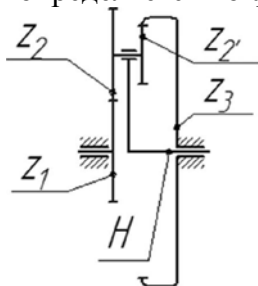
1. Цилиндрические зубчатые передачи. Рядовые зубчатые механизмы.
2. Червячные передачи.
3. Эпициклические зубчатые механизмы.
4. Актуальность использования зубчатых передач в приводах роботов и технологического оборудования.
5. Рядовые зубчатые редукторы и планетарные редукторы.
6. Дифференциальные механизмы.
7. Применение планетарных редукторов, их достоинства и недостатки.
8. Условия соосности, соседства и сборки, когда они применяются?
9. Какова цель применения метода обращения движения при кинематическом анализе планетарных передач?
10. Передаточное отношение планетарного редуктора.
11. Наименьшее значение чисел зубьев.
12. Условие наименьшего габарита.
13. Расчет к.п.д. планетарных передач.
14. Классификация зубчатых передач.
15. Типы планетарных передач.
16. Назвать параметры зубчатого зацепления. Что такое угол зацепления зубчатых колес? Что такое радиус начальной и делительной окружностей?
17. Формула определения диаметра делительной окружности?
18. Что такое корригированные зубчатые колеса?
19. В чем заключается отличие цилиндрической и червячной передач?
20. Какие типы передач можно проектировать при использовании модуля APM Trans системы автоматизированного проектирования APM WinMachine?

21. Применение передач зацеплением в приводах роботов. Основные особенности.  
 22. Проектирование планетарных механизмов.

Примеры задач:

1.

Передаточное отношение от колеса  $Z_1$  к водилу  $H$  определяется по формуле



$$1. i_{1H}^{(3)} = 1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2'}$$

$$2. i_{1H}^{(3)} = 1 - \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2'}$$

$$3. i_{1H}^{(3)} = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2'}$$

$$4. i_{1H}^{(3)} = -\frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2'}$$

2.

Найдите частоту вращения ведомого вала  $n_2$  одноступенчатой зубчатой передачи ( $Z_1=15$ ,  $Z_2=45$ ), если частота вращения ведущего вала  $n_1=900 \text{ мин}^{-1}$ .

$$1. 300 \text{ мин}^{-1}$$

$$2. 0,333 \text{ мин}^{-1}$$

$$3. 100 \text{ мин}^{-1}$$

4. Нет правильного ответа

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, показывающий всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, показывающий полное знание учебного материала, допустившим незначительные погрешности при выполняющий практические задания.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, показавший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии; допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении практических заданий.

К оценочным средствам результатов обучения относятся: устный опрос (экзамен), контрольная работа, лабораторная работа, творческие задания, презентация, доклад, сообщение, реферат.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24765>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине представлены в курсе Moodle <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24765>

в) Методические указания по проведению лабораторных работ представлены в курсе Moodle.

Список лабораторных работ.

1. Передаточные механизмы роботов. Кинематика зубчатых механизмов.
2. Расчет цилиндрической зубчатой передачи.
3. Кинематические характеристики планетарных передач. Возможность сборки механизма.
4. Высокоточные червячные редукторы в промышленном роботе "Робин РСС-1 Сфера". Расчет червячной передачи.
5. Проверка условия существования планетарных зубчатых передач.
6. Расчет коэффициента полезного действия многоступенчатой передачи.
7. Подбор чисел зубьев планетарных механизмов промышленных роботов методом сомножителей.
8. Подбор чисел зубьев планетарных механизмов методом генерального уравнения.
9. Проектирование многоступенчатого зубчатого механизма с планетарной передачей.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

При проведении самостоятельной работы предлагаются индивидуальные задания по следующим темам:

1. Расчет планетарных передач промышленных роботов.
2. Компоновка и расчет многоступенчатого привода промышленного робота.
3. Использование Интернет-ресурсов по работе с программой АРМ WinMachine ([www.apm.ru](http://www.apm.ru)).

Рекомендуемая литература для самостоятельной работы и выполнения индивидуальных заданий представлена в перечне учебной литературы.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Горбенко Т. И. Практикум по теории механизмов и машин : [учебное пособие] / Горбенко Т. И., Горбенко М. В. ; Том. гос. ун-т. – Томск : Томский государственный университет, 2012. – 219 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000429174>

– Теория механизмов и машин. Проектирование элементов и устройств технологических систем электронной техники : учебник для бакалавриата и магистратуры / Ивашов Е. Н., Лучников П. А., Сигов А. С., Степанчиков С. В. ; под ред. А. С. Сигова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2016. – 369 с. – Режим доступа ЭБС Юрайт: <https://www.biblio-online.ru/book/39A9EDCC-5C89-4783-8DA8-81321BE4907E>

– Иосилевич Г. Б. Прикладная механика : [учебник для вузов] / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. – М. : Альянс, 2013. – 574 с.

– Чмиль В. П. Теория механизмов и машин : учебно-методическое пособие / В. П. Чмиль. – СПб. : Лань, 2016. – 280 с. – Режим доступа ЭБС Лань: <http://e.lanbook.com/book/86022>

б) дополнительная литература:

– Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учебное пособие / А. П. Лукинов. – СПб. [и др.] : Лань, 2012. – 605 с.: ил. – URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2765](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2765)

– Овсянников С.В. «Экспериментальные исследования в мехатронных системах». Часть 2 / С.В. Овсянников, А.А. Бошляков, А.О. Кузьмина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – 54 с.

– Шелюфаст В.В. Основы проектирования машин. – М.: Изд-во АПМ, 2005. - 472с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Горбенко Т. И. Инновации в промышленности: мехатроника и робототехника : массовый открытый онлайн-курс / Т. И. Горбенко, М. В. Горбенко ; Том. гос. ун-т. - Томск: Томский государственный университет, 2015. URL: <https://www.coursera.org/learn/innovations-in-industry-robotics#syllabus>

– АПМ Расчет и проектирование деталей машин и механизмов [Электронный ресурс] / ООО НТЦ "АПМ". – Электрон. дан. – М., 2016. – URL: [www.apm.ru](http://www.apm.ru)

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон.дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **15. Информация о разработчиках**

Горбенко Татьяна Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, Томский государственный университет, Физико-технический факультет, кафедра Прикладной газовой динамики и горения, доцент.