

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

**Теоретическая механика**

по направлению подготовки / специальности

**24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

**Технологии проектирования и управления беспилотными авиационными системами**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Ю.Н. Рыжих

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерных технологий для их решения

ООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат теоретической механики и научиться решать практические задачи.

– Научиться применять понятийный аппарат теоретической механики для успешного решения практических задач профессиональной деятельности.

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

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

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

Третий семестр, зачет с оценкой

Четвертый 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: математический анализ, линейная алгебра, аналитическая геометрия, общая физика (основы классической механики), информатика.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 часов, из которых:

-лекции: 60 ч.

-практические занятия: 60 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. ВВЕДЕНИЕ

Краткая характеристика задач, решаемых в теоретической механике. Место теоретической механики в цикле естественнонаучных дисциплин. Фундаментальные

модели и определения. Аксиоматический метод в механике. Структура курса теоретической механики.

## Тема 2. СТАТИКА

Аксиомы статики. Следствие о переносе силы вдоль её линии действия. Связи и их реакции. Односторонние и двусторонние связи. Важнейшие примеры связей.

Сила как мера механического взаимодействия материальных тел. Вектор силы, его модуль, направление и компоненты, точка приложения силы. Момент силы относительно точки (полюса), его свойства, вычисление проекций момента силы. Момент силы относительно оси.

Системы сил, их эквивалентность. Пара сил и её момент. Главный вектор и главный момент произвольной системы сил; изменение главного момента системы сил при смене полюса.

Элементарные операции над системами сил. Теорема о приведении системы параллельных сил к равнодействующей. Центр системы параллельных сил. Распределённые системы параллельных сил. Центр тяжести тела; способы нахождения центра тяжести.

Приведение произвольной системы сил к простейшему виду элементарными операциями. Теорема об условиях равновесия абсолютно твёрдого тела. Уравнения равновесия для произвольной, плоской и сходящейся системы сил, для системы параллельных сил. Равновесие систем твёрдых тел. Статически определимые и статически неопределимые системы. Последовательность действий при составлении уравнений равновесия системы твёрдых тел. Порядок решения задач о равновесии систем твёрдых тел при помощи компьютера.

Критерий эквивалентности двух систем сил. Условие эквивалентности двух пар сил.

Инварианты произвольной системы сил (статические инварианты). Силовой винт и его элементы приведения; параметр невырожденного винта. Стандартное представление силового винта (при помощи коллинеарных элементов приведения). Ось силового винта (центральная ось системы сил), уравнения оси невырожденного винта. Условия приведения произвольной системы сил к равнодействующей. Теорема Вариньона.

Трение. Виды трения. Законы трения скольжения (при покое); угол трения и конус трения. Понятие о трении качения и верчения. Методы решений задач о равновесии систем твёрдых тел при наличии трения.

## Тема 3. КИНЕМАТИКА.

Системы отсчёта. Способы задания движения точки. Уравнения траектории точки. Скорость и ускорение точки при различных способах задания её движения.

Скорость и ускорение точки в криволинейных системах координат.

Скорость и ускорение точки в естественных осях.

Кинематика системы точек. Относительные радиус-векторы, скорости и ускорения точек. Условие жёсткой связи между точками системы. Неизменяемые системы точек.

Кинематика твёрдого тела. Способы задания ориентации твёрдого тела. Связанная система отсчёта. Нахождение текущего положения точки тела по компонентам её радиус-вектора в связанной системе координат. Матрица направляющих косинусов, её свойства.

Поступательное движение твёрдого тела. Траектории, скорости и ускорения точек тела при поступательном движении. Мгновенно-поступательное движение.

Векторы угловой скорости и углового ускорения твёрдого тела. Скорости точек твёрдого тела. Ускорения точек твёрдого тела. Сферическое движение твёрдого тела. Распределение скоростей и ускорений точек твёрдого тела при сферическом движении. Ось мгновенного вращения.

Оператор поворота твёрдого тела. Ось поворота. Стандартное представление матрицы оператора поворота. Теорема о перемещении твёрдого тела с закреплённой точкой.

Кинематический винт и его элементы приведения; параметр невырожденного винта. Кинематические инварианты. Стандартное представление кинематического винта (при помощи коллинеарных элементов приведения). Ось кинематического винта. Мгновенно-винтовое движение.

Плоское (плоскопараллельное) движение твёрдого тела. Матрица направляющих косинусов при плоском движении. Векторы угловой скорости и углового ускорения твёрдого тела при плоском движении. Распределение скоростей и ускорений точек твёрдого тела при плоском движении. Последовательность действий при решении задач кинематики плоского движения аналитическим способом. Вращательное движение твёрдого тела; распределение скоростей и ускорений точек твёрдого тела при вращательном движении. Мгновенный центр скоростей, методы его нахождения. Последовательность действий при решении задач кинематики плоского движения геометрическим способом.

Мгновенный центр ускорений, методы его нахождения.

Дифференцирование вектора в подвижной системе отсчёта. Сложное движение точки; абсолютное, переносное и относительное движения. Теоремы о скоростях и ускорениях точки при сложном движении. Кориолисово ускорение.

Сложное движение твёрдого тела. Теорема о сложении угловых скоростей. Сложение мгновенных движений. Сложение мгновенных вращений вокруг параллельных, пересекающихся и скрещивающихся осей.

Углы Эйлера и их использование для описания ориентации твёрдого тела. Выражение матрицы направляющих косинусов через углы Эйлера. Кинематические уравнения Эйлера.

#### Тема 4. ДИНАМИКА

Динамика материальной точки. Аксиомы динамики. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Количество движения материальной точки. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в векторной, координатной и естественной формах. Последовательность действий при составлении уравнений движения материальной точки. Первая и вторая задачи динамики. Порядок решения первой и второй задачи динамики точки аналитическими и численными методами.

Примеры интегрируемых задач динамики материальной точки (случаи уравнений с разделяющимися переменными, линейных уравнений с постоянными коэффициентами). Дифференциальные уравнения движения точки в полярной и цилиндрической системах координат.

Динамика относительного движения точки. Уравнения динамики материальной точки в неинерциальной системе отсчёта. Переносная и кориолисова силы инерции. Принцип относительности Галилея.

Динамика системы материальных точек. Силы внешние и внутренние. Свойства внутренних сил. Дифференциальные уравнения движения системы материальных точек в инерциальной системе отсчёта. Система материальных точек как модель материального тела (или системы материальных тел).

Понятие о первых интегралах уравнений движения системы материальных точек. Количество движения системы материальных точек. Количество движения твёрдого тела. Теорема об изменении количества движения системы в дифференциальной и интегральной формах. Случаи сохранения количества движения системы материальных точек; интегралы количества движения.

Центр масс механической системы, его свойства. Теорема о движении центра масс. Интегралы движения центра масс. Кёнигова система отсчёта; оси Кёнига.

Движение точки переменной массы (переменного состава). Реактивная сила. Уравнение Мещерского. Задача о вертикальном движении ракеты; формула Циолковского.

Кинетический момент системы материальных точек относительно полюса, его проекции на координатные оси и правило преобразования при смене полюса. Теорема об изменении кинетического момента системы относительно неподвижного полюса в дифференциальной и интегральной формах. Случаи сохранения кинетического момента системы относительно неподвижного полюса; интегралы кинетического момента. Момент инерции и кинетический момент твёрдого тела относительно оси. Дифференциальное уравнение вращения твёрдого тела вокруг неподвижной оси.

Относительный кинетический момент системы материальных точек (её кинетический момент в движении относительно подвижного полюса). Собственный кинетический момент системы (её кинетический момент в движении относительно центра масс). Теорема об изменении собственного кинетического момента системы в дифференциальной и интегральной формах. Случаи сохранения собственного кинетического момента системы. Дифференциальные уравнения плоского движения твёрдого тела.

Элементарная и полная работа силы. Мощность силы. Работа и мощность системы сил. Теорема о мощности системы сил, действующих на абсолютно твёрдое тело. Мощность пары сил.

Кинетическая энергия материальной точки и системы материальных точек. Теорема Кёнига. Кинетическая энергия твёрдого тела при различных видах его движения. Теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной и интегральной формах.

Стационарные и нестационарные силовые поля. Полная работа силы стационарного силового поля. Потенциальное силовое поле; потенциальная энергия материальной точки и системы материальных точек. Элементарная и полная работа силы стационарного потенциального поля. Примеры вычисления потенциальной энергии: однородного поля тяжести, поля линейной силы упругости, поля гравитации неподвижного тела со сферически симметричным распределением масс.

Полная механическая энергия. Теорема об изменении полной механической энергии. Условия сохранения полной механической энергии; интеграл энергии. Консервативные механические системы.

Определение реакций в опорах твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Статические и добавочные динамические реакции. Условия динамической балансировки.

Уравнение динамики твёрдого тела с неподвижной точкой. Динамические уравнения Эйлера (уравнения динамики твёрдого тела с неподвижной точкой в проекциях на главные оси инерции). Уравнения Ньютона – Эйлера (уравнения динамики свободного твёрдого тела).

Задача о движении тяжёлого твёрдого тела с неподвижной точкой.

## Тема 5. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Аналитическое задание связей и их классификация в зависимости от вида условий связей (связи двусторонние и односторонние, стационарные и нестационарные, геометрические и кинематические, голономные и неголономные).

Кинематически осуществимые движения механических систем. Элементарные перемещения; условия на их компоненты, налагаемые связями. Пространство положений системы материальных точек; состояние системы материальных точек. Условия, налагаемые геометрическими и кинематическими связями на скорости и ускорения точек системы.

Конфигурационное пространство голономной механической системы; число её степеней свободы. Обобщённые координаты и скорости; требования к параметризации механической системы. Выражение скорости точки системы через обобщённые скорости. Возможные перемещения; условия на их компоненты, налагаемые связями. Выражение возможных перемещений через вариации обобщённых координат.

Возможная работа и возможная мощность системы сил. Обобщённые силы, способы вычисления обобщённых сил. Идеальные связи; геометрическая интерпретация условия идеальности. Идеальность внутренних связей в неизменяемой системе материальных точек.

Даламберовы силы инерции. Принцип Даламбера и уравнения динамического равновесия для системы материальных точек; метод кинетостатики. Главный вектор и главный момент даламберовых сил инерции. Принцип Даламбера и уравнения динамического равновесия для твёрдого тела. Принцип Даламбера – Лагранжа и общее уравнение динамики. Решение задач динамики при помощи принципа Даламбера – Лагранжа.

Общее уравнение динамики и уравнения динамического равновесия механической системы в обобщённых координатах. Уравнения Лагранжа второго рода: вывод и методика применения. Обобщённые импульсы. Порядок решения задач динамики голономных механических систем при помощи компьютера.

Структура кинетической энергии механической системы (характер зависимости кинетической энергии от обобщённых скоростей). Кинетические коэффициенты. Структура уравнений Лагранжа второго рода. Матричная запись уравнений Лагранжа. Положительная определённость матрицы кинетических коэффициентов.

Обобщённые потенциальные силы. Функция Лагранжа механической системы с потенциальными силами. Уравнения Лагранжа для систем с потенциальными силами. Циклические интегралы.

Состояния равновесия и равновесные конфигурации механических систем. Принцип возможных перемещений и общее уравнение статики. Решение задач статики при помощи принципа возможных перемещений. Общее уравнение статики и уравнения равновесия механической системы в обобщённых координатах. Условия равновесия механических систем с потенциальными силами.

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

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

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

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

Зачет с оценкой в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность зачета с оценкой 1 час.

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

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=22331>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1) Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики: Учебник. – Спб.: Лань, 2008. – 736 с.

2) Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики Ч. 1. Кинематика, статика, динамика материальной точки: Учебное пособие. 10-е изд., стер. – Спб.: Издательство «Лань», 2009. – 480 с.

3) Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики Ч. 1. Динамика системы материальных точек: Учебное пособие. 7-е изд., стер. – Спб.: Издательство «Лань», 2009. – 336 с.

б) дополнительная литература:

1) Вильке В.Г. Теоретическая механика. Серия "Классический университетский учебник". – Изд.3, испр. и доп. 2003. – 304 с.

2) Кирсанов М.Н. Решебник. Теоретическая механика. – М.: Физматлит, 2008. – 384 с.

3) Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике: Учебное пособие. – Спб.: Лань, 2005. – 448 с.

4) Теоретическая механика: учебник для академического бакалавриата / Н. Н. Поляхов, С. А. Зегж да, М. П. Юшков ; под ред. П. Е. Товстика. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2014. — 592 с.

5) Томилов Е.Д. Теоретическая механика Ч.1. – Изд-во Томского университета, 1966. – Ч.1. – 304 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1) <http://vuz.exponenta.ru/> Архив задач по механике и математике для студентов и преподавателей

2) [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=32](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=32) Электронное издание Доступ к полному тексту документа после регистрации пользователя на сайте <http://e.lanbook.com/> в локальной сети ТГУ

3) [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=25&p11\\_id=33](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=33) Электронное издание Доступ к полному тексту документа после регистрации пользователя на сайте <http://e.lanbook.com/> в локальной сети ТГУ

4) <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/theoretical.htm> Теоретическая и аналитическая механика

## 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);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

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.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

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

Глазунов Анатолий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, физико-технический факультет, кафедра прикладной аэромеханики, профессор.

Еремин Иван Владимирович, кандидат физико-математических наук, зам. директора по НИР НИИ ПММ ТГУ, зав. лаб. 101 НИИ ПММ ТГУ.

Мерзляков Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, физико-технический факультет, кафедра прикладной аэромеханики, доцент.