

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

Направление/специальность подготовки	24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
Выпускающая кафедра	А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	52	26	26	0	56	0	0	56	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

год набора группы: 2026

Программу составил:

Кафедра А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Мелихов Кирилл Владиславович, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Маштаков А.П., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Маштаков А.П., к.т.н., доц.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-3.2 — Способен проводить расчетную и экспериментальную отработку динамики и прочности конструкций изделий ракетно-космической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-3.2

знания:

на уровне представления знать типовые постановки задач термоупругости, особенности прочностных расчетов в условиях термосилового нагружения;

на уровне воспроизведения знать простейшие методы расчета напряженно-деформированного состояния типовых элементов конструкции при термо-механических воздействиях;

на уровне понимания знать основные уравнения термоупругости, аналитические и численные методы их решения;

умения:

теоретические: использовать изученные методы для решения прикладных задач термпрочности и термоупругости;

практические: определять напряжения, деформации и перемещения элементов конструкции при действии стационарных и нестационарных температурных нагрузок, оценивать прочность конструкции при воздействии данных факторов;

навыки:

проведения прикладных расчетов термпрочности типовых конструкций;

анализа результатов расчетов термпрочности и термоупругости.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению 24.03.01 *Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕРМОДИНАМИКА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, % ПК-3.2
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		
4	8	Раздел 1. Введение. Задачи и методы термоупругости и термopрочности. Источники температурного нагружения технических си-стем. Виды напряженно-деформированного состояния. Классификация задач термоупругости. Поведение материалов при повышенных температурах. Методы решения задач термopрочности и термоупругости систем.	15	10	10	0	5	25
4	8	Раздел 2. Основные соотношения термоупругости. Теория температурного изгиба пластин. Закон Дюамеля-Неймана для трехмерного напряженного состояния. Соотношения между напряжениями и деформациями в декартовой системе координат. Уравнения равновесия в напряжениях и перемещениях Основные допущения теории температурного изгиба пластин, уравнения в усилиях и моментах, разрешающие уравнения в перемещениях 3.3 Основные виды теплопередачи. Уравнение теплопроводности 3.4 Осредненные уравнения теплопроводности стержней, балок и прямоугольных пластин.	24	9	3	6	15	25
4	8	Раздел 3. Термopрочность и термоупругость стержневых и балочных систем. Температурные напряжения в стержнях. Уравнение равновесия стержня под действием температурного нагружения Теория температурного изгиба балок. Основные допущения, уравнения равновесия. Уравнение упругой линии, граничные условия Аналитическое решение уравнения упругой линии балки под воздействием температурного нагружения. Решение уравнения упругой линии балки для температурного нагружения методом Бубнова-Галеркина. Особенности метода конечных элементов для решения задач термоупругости. Конечно-элементное решение задачи термоупругости для стержней и балок.	44	23	10	13	21	25
4	8	Раздел 4. Динамические задачи термоупругости. Динамические уравнения термоупругости в декартовых координатах. Нестационарные уравнения теплопроводности. Уравнения динамики термоупругих стержней, балок и прямоугольных пластин. Осредненные уравнения теплопроводности для нестационарного случая Аналитическое решение динамических уравнений термоупругости балок и прямоугольных пластин для случая шарнирного опирания. Приближенное решение методом Бубнова-Галеркина.	25	10	3	7	15	25
Всего за 8 семестр			108	52	26	26	56	100
Всего по дисциплине			108	52	26	26	56	100

3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Основные соотношения термоупругости. Теория температурного изгиба пластин.	Решение стационарных уравнений теплопроводности и термоупругости для неоднородной пластины методом Бубнова-Галеркина	6
2	Раздел 3. Термopрочность и термоупругость стержневых и балочных систем.	Расчет напряжений в статически определимой балке под действием линейно изменяющегося по длине и толщине поля температур	5
3		Расчет прочности неравномерно нагретого по длине составного стержня методом конечных элементов	8
4	Раздел 4. Динамические задачи термоупругости.	Решение нестационарных уравнений теплопроводности и динамических уравнений термоупругости для неоднородной балки методом Бубнова-Галеркина	7
Всего за 8 семестр			26

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение. Задачи и методы термоупругости и термopрочности.	Изучение литературы	5
2	Раздел 2. Основные соотношения термоупругости. Теория температурного изгиба пластин.	Изучение литературы	7
3		Подготовка к лабораторной работе 3	8
4		Изучение литературы	7
5	Раздел 3. Термopрочность и термоупругость стержневых и балочных систем.	Подготовка к лабораторной работе 1	7
6		Подготовка к лабораторной работе 2	7

7	Раздел 4. Динамические задачи термоупругости.	Изучение литературы	5
8		Подготовка к лабораторной работе 4	10
Всего за 8 семестр			56

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8						ДР	ЛР			ДР	ЛР		ЛР, Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. А. Нестеров, С. В. Габидулин. . Расчёт балок и пластин методом Бубнова–Галеркина. Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2019, эл. рес.
2. В. И. Погорелов. . Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
3. В. И. Погорелов. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев. Москва: Юрайт, 2019, эл. рес.
4. В. И. Феодосьев. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018, эл. рес.
5. Г. В. Белов. . Термодинамика. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
6. Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988, 125 экз.
7. Е. Г. Бородина, А. Н. Старухин. . Колебания и волны. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/book/209822> — ЭБС Лань;
2. <https://www.youtube.com/watch?v=5OjXEWL9DIU>.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Лабораторные занятия:

1. Проектор.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ТЕРМОУПРУГОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению **24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика**. Дисциплина реализуется на факультете **А Ракетно-космическая техника** БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой **А4 СТАРТОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ РАКЕТ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-3.2 Способен проводить расчетную и экспериментальную отработку динамики и прочности конструкций изделий ракетно-космической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами расчета тепловых полей и температурных деформаций для различных элементов конструкции: балок, пластин и оболочек, массивных тел.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**26 ч.**), лабораторный практикум (**26 ч.**), самостоятельная работа студента (**56 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 52 ч. аудиторных занятий, и 56 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Введение. Задачи и методы термоупругости и термopрочности.		
Изучение литературы	Г. В. Белов. . Термодинамика: Москва: Юрайт, 2020 (1) Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988 (1,2)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Основные соотношения термоупругости. Теория температурного изгиба пластин.		
Изучение литературы	В. А. Нестеров, С. В. Габидулин. . Расчёт балок и пластин методом Бубнова–Галеркина: Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2019 (4, 5)	7
Подготовка к лабораторной работе 3	В. И. Погорелов. . Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев: Москва: Юрайт, 2020 (5, 6)	8
Итого по разделу 2		15
Раздел 3. Термopрочность и термоупругость стержневых и балочных систем.		
Изучение литературы	Г. В. Белов. . Термодинамика: Москва: Юрайт, 2020 (3, 4) В. И. Погорелов. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев: Москва: Юрайт, 2019 (1, 4)	7
Подготовка к лабораторной работе 1	Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988 (2, 3) В. А. Нестеров, С. В. Габидулин. . Расчёт балок и пластин методом Бубнова–Галеркина: Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2019 (2,3)	7
Подготовка к лабораторной работе 2	В. И. Феодосьев. Сопротивление материалов: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2018 (4, 5)	7
Итого по разделу 3		21
Раздел 4. Динамические задачи термоупругости.		
Изучение литературы	Е. Г. Бородина, А. Н. Старухин. . Колебания и волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1, 3, 4)	5
Подготовка к лабораторной работе 4		10
Итого по разделу 4		15

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену;
- лабораторная работа;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Контрольная работа

Контрольная работа включает в себя решение трех задач по пройденному материалу. Критерием сдачи контрольной работы является правильное решение не менее двух задач.

Примеры задач входят в состав УМК дисциплины.

Вопросы к экзамену

Источники температурного нагружения технических систем.

Виды напряженно-деформированного состояния.

Классификация задач термоупругости.

Поведение материалов при повышенных температурах.

Методы решения задач термпрочности и термоупругости систем.

Коэффициент температурного расширения. Температурные напряжения в стержнях. Уравнение равновесия стержня под действием температурного нагружения. Термпрочность стержня при различных условиях закрепления (жесткое, упругое). Случай неравномерного по длине нагрева.

Основные допущения теории температурного изгиба балок. Напряжения и деформации балок при изгибе.

Усилия и моменты в балках, обусловленные нагревом.

Определение напряжений в балках при температурном изгибе по известным усилиям и моментам.

Вывод уравнений равновесия балок в усилиях и моментах. Вывод уравнения упругой линии балки при термомеханическом нагружении.

Виды граничных условий и их математическая формулировка. Общая методика решения уравнения упругой линии балки.

Решение уравнения упругой линии балки методом разложения в тригонометрический ряд Фурье.

Метод взвешенных невязок. Приближенное решение уравнения упругой линии методом Бубнова-Галеркина.

Аппроксимация решения тригонометрическими функциями и полиномами.

Особенности метода конечных элементов для решения задач термоупругости. Построение конечно-элементного решения для стержня.

Построение конечно-элементного решения задачи температурного изгиба балок.

Закон Дюамеля-Неймана для трехмерного напряженного состояния.

Соотношения между напряжениями и деформациями в декартовой системе координат.

Уравнения равновесия в напряжениях и в перемещениях.

Допущения теории температурного изгиба пластин.

Уравнения равновесия прямоугольных пластин в усилиях и моментах.

Разрешающее уравнение теории термоупругих пластин в перемещениях. Граничные условия.

Решение задачи для шарнирно-опертой пластины в рядах Фурье.

Основные виды теплопередачи. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности.

Представление температуры в виде ряда по поперечной координате. Осредненные уравнения теплопроводности для стержней, балок и прямоугольных пластин

Динамические уравнения термоупругости в декартовых координатах. Нестационарные уравнения теплопроводности. Вывод уравнений динамики термоупругих балок и прямоугольных пластин. Осредненные уравнения теплопроводности для нестационарного случая

Аналитическое решение динамических уравнений термоупругости балок и прямоугольных пластин для случая шарнирного опирания. Приближенное решение методом Бубнова-Галеркина.

Лабораторная работа

Допуск к выполнению ЛР происходит, при условии наличия у студента печатной версии титульного листа отчета по лабораторной работе, в форме устного собеседования по тематике лабораторной работы. Ответы на более 50% вопросов является допуском к лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном для отчета по лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Ответы на более 50% вопросов является защитой лабораторной работы. Контрольные вопросы по теме лабораторных работ представлены в УМК дисциплины.

Экзамен

Допуск к сдаче экзамена оформляется при условии полного выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий.

Экзамен по дисциплине проходит в форме устного собеседования и ответов на вопросы к экзамену.

Преподаватель задает четыре вопроса.

Правильный ответ на два вопроса является основанием для получения студентом оценки "удовлетворительно" по дисциплине.

Правильный ответ на три вопроса является основанием для получения студентом оценки "хорошо" по дисциплине.

Правильный ответ на четыре вопроса является основанием для получения студентом оценки "отлично" по дисциплине.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПК-3.2	
4	8	Раздел 1. Введение. Задачи и методы термоупругости и термopрочности.	15	10	10	0	5	25	Контрольная работа
4	8	Раздел 2. Основные соотношения термоупругости. Теория температурного изгиба пластин.	24	9	3	6	15	25	Вопросы к экзамену, Лабораторная работа, Контрольная работа
4	8	Раздел 3. Термopрочность и термоупругость стержневых и балочных систем.	44	23	10	13	21	25	Лабораторная работа, Контрольная работа
4	8	Раздел 4. Динамические задачи термоупругости.	25	10	3	7	15	25	Вопросы к экзамену, Лабораторная работа, Контрольная работа
Всего за 8 семестр			108	52	26	26	56	100	
Всего по дисциплине			108	52	26	26	56	100	

ПК-3.2 - Способен проводить расчетную и экспериментальную обработку динамики и прочности конструкций изделий ракетно-космической техники

№ 1 Прочитайте текст и установите последовательность

Формулировка разрешающей системы уравнений для динамической системы с несколькими степенями свободы с использованием закона сохранения импульса (закона сохранения момента импульса).
Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1. Заменить упругие и диссипативные связи между телами соответствующими реакциями
2. Записать соотношения для деформаций (скоростей деформаций) в соответствии с выбранным правилом знаков
3. Записать соотношения для усилий в связях в зависимости от кинематических неизвестных

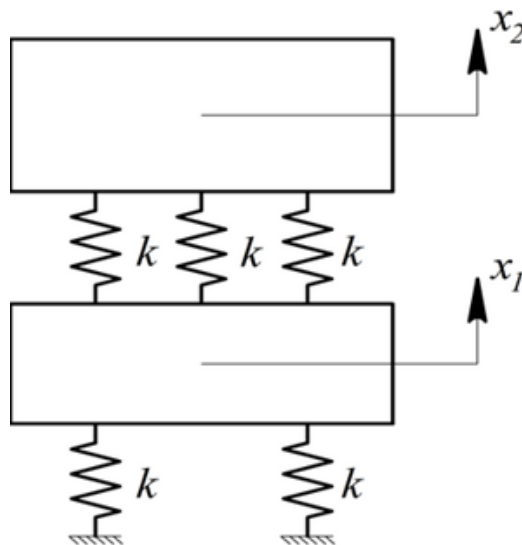
Для каждого из твердых тел записать уравнения закона сохранения импульса (закона сохранения момента импульса)

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Какой математической функцией определяется затухание собственных колебаний линейной колебательной системы?

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Дана система с двумя степенями свободы, определяющаяся расчетной схемой на рисунке:



Значение жесткости пружин k , масса обоих блоков m .

Определите значения собственных круговых частот колебаний системы

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Ниже приведены определения, соответствующие понятиям из области колебаний систем и динамики конструкций. Поставьте в соответствие определениям из правого столбца понятия из левого:

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. Число степеней свободы | A. количество независимых переменных, минимально необходимое для описания движения системы |
| 2. Форма колебаний | B. относительные значения амплитуд степеней свободы для соответствующей частоты собственных колебаний |
| 3. Виртуальное перемещение | C. произвольное малое перемещение, удовлетворяющее кинематическим ограничениям системы |
| 4. Аperiodический | D. процесс, которому соответствует значение коэффициента демпфирования |

$$\zeta > 1$$

Е. бесконечно малое перемещение, удовлетворяющее кинематическим ограничениям

Е. процесс, которому соответствует значение коэффициента демпфирования

$$\zeta > 1$$

Г. максимальные значения амплитуд собственных колебаний

Н. количество объектов в системе

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Ниже приведены определения, соответствующие понятиям из области колебаний систем и динамики конструкций. Поставьте в соответствие определениям из правого столбца понятия из левого:

1. Общее решение системы уравнений, описывающей колебания системы с двумя степенями свободы	А. $C_1 \{u^{(1)}\} \cos(\omega_1 t - \phi_1) + C_2 \{u^{(2)}\} \cos(\omega_2 t - \phi_2)$
2. Круговая частота собственных колебаний системы с одной степенью свободы	В. $\sqrt{\frac{k}{m}}$
3. Безразмерный коэффициент затухания	С. $\frac{c}{2m\omega}$
4. Период колебаний системы с одной степенью свободы	Д. $\frac{2\pi}{\omega}$
	Е. $\sqrt{\frac{m}{k}}$
	Ф. $\frac{1}{2\pi\omega}$
	Г. $\sqrt{\frac{c}{m\omega}}$
	Н. $C_1 \{u^{(1)}\} \sin(\omega_1 t - \phi_1) + C_2 \{u^{(2)}\} \sin(\omega_2 t - \phi_2)$
	И. $\frac{c}{2m\omega}$

№ 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

В какой форме может быть записан интеграл Дюамеля?

1. $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(\tau) \cos[\omega_n(t-\tau)] d\tau$
2. $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(t-\tau) \sin(\omega_n \tau) d\tau$
3. $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(t-\tau) \cos(\omega_n \tau) d\tau$
4. $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(\tau) \sin[\omega_n(t-\tau)] d\tau$

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Формулировка разрешающей системы уравнений для динамической системы с несколькими системами с использованием закона сохранения импульса (закона сохранения момента импульса). Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1. Заменить упругие и диссипативные связи между телами соответствующими реакциями
2. Записать соотношения для деформаций (скоростей деформаций) в соответствии с выбранным правилом знаков
3. Записать соотношения для усилий в связях в зависимости от кинематических неизвестных
4. Записать соотношения для виртуальных работ всех сил, включая силу инерции
5. Приравнять к нулю сумму виртуальных работ
6. В сумме виртуальных работ сгруппировать подобные слагаемые у виртуальных перемещений

Скобку при каждом виртуальном перемещении приравнять к нулю

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой закон может использоваться для составления уравнений вращательного движения системы?

1. Закон сохранения энергии
2. Закон сохранения импульса
3. Закон сохранения момента импульса
4. Закон сохранения массы

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой кинематической характеристике пропорционально усилие от вязкого сопротивления динамической системы?

1. Скорости
2. Ускорению
3. Перемещению
4. Угловому отклонению

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какому процессу соответствует значение коэффициента демпфирования

$$\zeta > 1?$$

1. Колебательный процесс
2. Граница апериодичности
3. Апериодический отклик

Свободные незатухающие колебания

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какими формулами описывается отклик для свободных затухающих колебаний системы с одной степенью свободы?

1. $x = x_0 \cos(\omega_n t) + \frac{v_0}{\omega_n} \sin(\omega_n t)$
2. $x = e^{-\zeta \omega_n t} \left[\frac{\zeta \omega_n x_0 + v_0}{\omega_d} \sin(\omega_d t) + x_0 \cos(\omega_d t) \right]$
3. $x = C e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\omega_d t - \phi)$
4. $x = C \cos(\omega_n t - \phi)$

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

При расчете задачи, связанной с динамическим анализом поступательного движения системы с одной степенью свободы, какой физический закон (законы) может (могут) быть использован для вывода дифференциального уравнения?

1. Закон Гука
2. Закон Кулона
3. Закон сохранения момента импульса
4. Закон сохранения импульса
5. Третий закон Ньютона