

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пусковые устройства, транспортно-установочное оборудование и средства обслуживания стартовых комплексов
Уровень высшего образования	Специалитет
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	7	3	108	34	17	17	0	74	0	0	74	диф. зач.
4	8	3	108	34	17	17	0	74	0	0	74	экз.
ВСЕГО		6	216	68	34	34	0	148	0	0	148	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов**

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 ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

### **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-4 — Способен проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем для прогнозирования функционирования, оптимизации, ожидаемых рисков и возможных отказов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-4**

#### *знания:*

На уровне представлений: динамические процессы в твердых телах, их методы расчета в механических системах различной сложности;

На уровне воспроизведения: знать основные методы решения задач динамики конструкций при стационарных и импульсных нагружениях для типовых элементов конструкций;

На уровне понимания: основные подходы к выводу уравнений динамики конструкций различной сложности из фундаментальных законов механики;

#### *умения:*

Теоретические: аналитические и численные методы решения дифференциальных уравнений динамики конструкций для систем с одной, несколькими, а также конечным и бесконечным числом степеней свободы;

Практические: оценивать основные параметры динамики сложных механических систем при импульсных, периодических и подобных нагружениях, аналитически рассчитывать параметры динамики балок при различном числе и расположении опор;

#### *навыки:*

Проведение прикладных расчетов динамического отклика типовых несущих конструкций агрегатов стартового оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АГРЕГАТЫ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**.

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 для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПК-4
4	7	Раздел 1. Колебательное движение и динамический отклик. Понятие колебательного движения. Квасистатические и динамические процессы. Динамический отклик конструкции.	7	2	2	0	5	10
4	7	Раздел 2. Основные законы механики. Закон сохранения импульса. Закон сохранения момента импульса. Закон сохранения энергии.	8	3	3	0	5	10
4	7	Раздел 3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы. Понятие свободных колебаний механических систем. Отклик системы без затухания. Отклик системы при наличии вязкого трения. Отклик системы при наличии сухого трения.	23	8	4	4	15	10
4	7	Раздел 4. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы. Отклик системы на периодическое воздействие. Отклик системы на воздействие в форме обобщенных функций. Отклик на произвольное воздействие. Ударный спектр. Численное интегрирование уравнения колебаний системы с одной степенью свободы.	38	11	4	7	27	10
4	7	Раздел 5. Системы с двумя степенями свободы. Уравнения движения системы с двумя степенями свободы. Свободные незатухающие колебания. Формы колебаний. Отклик на начальные возмущения. Преобразование координат. Ортогональность собственных форм. Отклик на гармоническое воздействие. Отклик на непериодическое воздействие.	32	10	4	6	22	10
Всего за 7 семестр			108	34	17	17	74	50
4	8	Раздел 6. Системы с многими степенями свободы. Принцип высвобожденности. Принцип виртуальных перемещений. Построение уравнений движения систем с многими степенями свободы. Свободные колебания. Задача на собственные значения. Разложение на собственные формы. Отклик на начальное возмущение. Отклик на периодическое воздействие. Отклик на непериодическое воздействие. Численный метод Ньюмарка.	36	12	6	6	24	20
4	8	Раздел 7. Аналитическое исследование изгибных колебаний балок. Гипотеза прямых нормалей (техническая теория Бернулли-Эйлера). Вывод уравнения изгибных колебаний балок. Граничные условия. Свободные изгибные колебания балок. Метод Фурье. Вынужденные изгибные колебания балок.	35	10	5	5	25	15
4	8	Раздел 8. Приближенные и численные методы исследования изгибных колебаний балок. Метод Бубнова-Галеркина. Метод конечных элементов.	37	12	6	6	25	15
Всего за 8 семестр			108	34	17	17	74	50
Всего по дисциплине			216	68	34	34	148	100

#### 3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы.	Определение отклика линейной системы с одной степенью свободы от начального возмущения	2
2		Определение отклика системы с одной степенью свободы при наличии сухого трения	2
3	Раздел 4. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы.	Определение отклика системы с одной степенью на произвольное возмущения численным методом	2
4		Отклик на периодическое воздействие произвольной формы	2
5		Анализ отклика системы с одной степенью свободы на ударное воздействие	3
6	Раздел 5. Системы с двумя степенями свободы.	Определение частот и форм свободных колебаний системы с двумя степенями свободы	3
7		Отклик системы с двумя степенями свободы на гармоническое воздействие	3
Всего за 7 семестр			17
8	Раздел 6. Системы с многими степенями свободы.	Определение собственных частот и форм колебаний систем с многими степенями свободы	2
9		Отклик системы с многими степенями свободы методом разложения по собственным формам	2
10		Определение отклика системы на произвольное воздействие методом Ньюмарка	2
11	Раздел 7. Аналитическое исследование изгибных колебаний балок.	Определение частот и форм свободных изгибных колебаний балок для различных условий закрепления	2
12		Расчет отклика балки при локальном импульсном воздействии	3

13	Раздел 8. Приближенные и численные	Анализ балки методом Бубнова-Галеркина	3
14	методы исследования изгибных колебаний балок.	Определение отклика рамной конструкции методом конечных элементов	3
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>17</b>

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Колебательное движение и динамический отклик.	Изучение литературы	5
2	Раздел 2. Основные законы механики.	Изучение литературы	5
3	Раздел 3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы.	Изучение литературы	5
4		Подготовка к лабораторной работе 1	5
5		Подготовка к лабораторной работе 2	5
6	Раздел 4. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы.	Подготовка к лабораторной работе 3	7
7		Подготовка к лабораторной работе 4	7
8		Подготовка к лабораторной работе 5	7
9		Изучение литературы	6
10	Раздел 5. Системы с двумя степенями свободы.	Изучение литературы	6
11		Подготовка к лабораторной работе 6	8
12		Подготовка к лабораторной работе 7	8
Всего за 7 семестр			74
13	Раздел 6. Системы с многими степенями свободы.	Подготовка к лабораторной работе 10	6
14		Изучение литературы	6
15		Подготовка к лабораторной работе 8	6
16		Подготовка к лабораторной работе 9	6
17	Раздел 7. Аналитическое исследование изгибных колебаний балок.	Изучение литературы	5
18		Подготовка к лабораторной работе 11	10
19		Подготовка к лабораторной работе 12	10
20	Раздел 8. Приближенные и численные методы исследования изгибных колебаний балок.	Изучение литературы	5
21		Подготовка к лабораторной работе 13	10
22		Подготовка к лабораторной работе 14	10
Всего за 8 семестр			74

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	ЛР			ЛР	ДР	ЛР	ЛР	ДР		ЛР		Контр.Р., ЛР	ЛР, Контр.Р.	ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.		
8					ДР	ЛР			ДР	ЛР		Контр.Р.	ЛР	ДР	Вопр. Экз		

Условные обозначения:

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

- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

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

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет;
- экзамен.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Расчёт стержневой системы методом конечных элементов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 41 экз.
2. А. В. Зенков. . Численные методы. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
3. В. Б. Синильщиков. . Динамика конструкций. Приближённые и аналитические методы. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009, эл. рес.
4. Г. А. Бугаенко, В. В. Маланин, В. И. Яковлев. . Механика. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
5. Г. Т. Алдошин, Н. Н. Дмитриев, А. Л. Илихменев. . Колебания механических систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 112 экз.
6. Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Колебания. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 135 экз.
7. Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Механика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 116 экз.
8. И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания. Москва: Юрайт, 2020, 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://www.youtube.com/watch?v=vm94fjAkjTs>;
2. <https://www.youtube.com/watch?v=wIkQEc0ZpCY>;
3. <https://www.youtube.com/watch?v=Kc2-znE9-wY>;
4. [https://online.mephi.ru/courses/physics\\_origins/data/215.html](https://online.mephi.ru/courses/physics_origins/data/215.html) — НАЧАЛА ФИЗИКИ;
5. <https://www.youtube.com/watch?v=AA6gWHu7GRs>;
6. [https://www.youtube.com/watch?v=Z\\_JSNxNXEjo](https://www.youtube.com/watch?v=Z_JSNxNXEjo);
7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Классическая\\_механика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Классическая_механика);
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Колебания>;
9. <https://www.youtube.com/watch?v=Wu2KlO7no0g>;
10. [https://www.gubkin.ru/faculty/mechanical\\_engineering/chairs\\_and\\_departments/mechanics\\_theory/files/mkr2.pdf](https://www.gubkin.ru/faculty/mechanical_engineering/chairs_and_departments/mechanics_theory/files/mkr2.pdf).

### 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.voennmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voennmeh.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 **ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. 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-4 Способен проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем для прогнозирования функционирования, оптимизации, ожидаемых рисков и возможных отказов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с анализом отклика инженерных конструкций на нестационарные воздействия. Рассматриваются вопросы свободных колебаний, вынужденных колебаний при воздействии периодической, ударной и произвольной нагрузок для сосредоточенных и распределенных механических систем.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

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

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет;
- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **6 з.е., 216 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**148 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 148 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. Колебательное движение и динамический отклик.		
Изучение литературы	Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Колебания: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1,2) Г. Т. Алдошин, Н. Н. Дмитриев, А. Л. Илихменев. . Колебания механических систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1,2) Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Механика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (3)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Основные законы механики.		
Изучение литературы	Г. А. Бугаенко, В. В. Маланин, В. И. Яковлев. . Механика: Москва: Юрайт, 2020 (2,3) Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Механика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (4,5,6)	5
Итого по разделу 2		5
Раздел 3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы.		
Изучение литературы	И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания: Москва: Юрайт, 2020 (3,4) Д. Л. Фёдоров, Ю. Н. Лазарева, В. Г. Средин. . Физика. Колебания: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1,2)	5
Подготовка к лабораторной работе 1		5
Подготовка к лабораторной работе 2		5
Итого по разделу 3		15
Раздел 4. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы.		
Подготовка к лабораторной работе 3	В. Б. Синильщиков. . Динамика конструкций. Приближённые и аналитические методы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (2,3) И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания: Москва: Юрайт, 2020 (5)	7
Подготовка к лабораторной работе 4		7
Подготовка к лабораторной работе 5		7
Изучение литературы		6
Итого по разделу 4		27
Раздел 5. Системы с двумя степенями свободы.		
Изучение литературы	И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания: Москва: Юрайт, 2020 (4,5) В. Б. Синильщиков. . Динамика конструкций. Приближённые и аналитические методы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (3)	6
Подготовка к лабораторной		8

работе 6		
Подготовка к лабораторной работе 7		8
Итого по разделу 5		22
Раздел 6. Системы с многими степенями свободы.		
Подготовка к лабораторной работе 10	И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания: Москва: Юрайт, 2020 (4,5,10)	6
Изучение литературы		6
Подготовка к лабораторной работе 8		6
Подготовка к лабораторной работе 9		6
Итого по разделу 6		24
Раздел 7. Аналитическое исследование изгибных колебаний балок.		
Изучение литературы	И. И. Вульфсон. . Динамика машин. Колебания: Москва: Юрайт, 2020 (6,7) В. Б. Синильщиков. . Динамика конструкций. Приближённые и аналитические методы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (5)	5
Подготовка к лабораторной работе 11		10
Подготовка к лабораторной работе 12		10
Итого по разделу 7		25
Раздел 8. Приближенные и численные методы исследования изгибных колебаний балок.		
Изучение литературы	. Расчёт стержневой системы методом конечных элементов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (2,3) А. В. Зенков. . Численные методы: Москва: Юрайт, 2020 (7)	5
Подготовка к лабораторной работе 13		10
Подготовка к лабораторной работе 14		10
Итого по разделу 8		25

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к дифференцированному зачету;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к экзамену;
- дифференцированный зачет;
- 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.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

1. Виды колебаний, понятие степени свободы, периода и частоты колебаний
2. Свободные колебания системы с одной степенью свободы без демпфирования, вывод и решение уравнения
3. Свободные затухающие колебания системы с одной степенью свободы при наличии вязкого демпфирования, вывод и решение уравнения
4. Свободные затухающие колебания при наличии внешнего сухого трения, вывод и решение уравнения
5. Характеристики затухающих колебаний, частота затухающих колебаний, период затухающих колебаний, коэффициент затухания, время затухания
6. Вынужденные гармонические колебания в системе с одной степенью свободы без затухания
7. Вынужденные гармонические колебания в системе с одной степенью свободы с вязким демпфированием
8. Понятие фазы отклика на гармоническое воздействие с точки зрения динамического отклика. Амплитудная и фазо-частотная характеристики систем с одной степенью свободы при гармоническом воздействии
9. Значение круговой частоты, при котором реализуется наибольшая амплитуда колебаний. Изменение фазового угла при переходе через резонанс.
10. Разложение возмущающей периодической функции в тригонометрический ряд Фурье. Понятие ортогональности и ортонормальности системы функций. Ряд Фурье в тригонометрической и комплексной формах.
11. Отклик системы с одной степенью свободы на внешний импульс в форме дельта-функции
12. Отклик системы с одной степенью свободы при воздействии в форме функции Хевисайда
13. Отклик системы с одной степенью свободы на воздействие в виде суммы элементарных функций. Решение для воздействия в форме прямоугольного импульса
14. Отклик системы с одной степенью свободы на произвольное возмущение, интеграл Дюамеля
15. Определение интеграла Дюамеля для синусоидального воздействия и для воздействия в виде прямоугольного импульса
16. Свободные колебания системы с двумя степенями свободы. Вывод основных уравнений из второго закона Ньютона
17. Свободные колебания системы с двумя степенями свободы. Собственные частоты и собственные формы колебаний. Задача о колебаниях двух шаров на струне
18. Отклик системы с двумя степенями свободы, обусловленный начальными возмущениями
19. Понятие ортогональности собственных форм колебаний для системы с двумя степенями свободы.
20. Отклик системы с двумя степенями свободы на гармоническое воздействие. Инерционный демпфер
21. Отклик системы с двумя степенями свободы на произвольное воздействие
22. Принцип виртуальных перемещений. Вывод для системы с одной степенью свободы
23. Вывод уравнений движения системы с двумя степенями свободы с использованием принципа виртуальных перемещений

#### 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.

#### 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.

### **Вопросы к экзамену**

1. Виды колебаний, понятие степени свободы, периода и частоты колебаний
2. Свободные колебания системы с одной степенью свободы без демпфирования, вывод и решение уравнения
3. Свободные затухающие колебания системы с одной степенью свободы при наличии вязкого демпфирования, вывод и решение уравнения
4. Свободные затухающие колебания при наличии внешнего сухого трения, вывод и решение уравнения
5. Характеристики затухающих колебаний, частота затухающих колебаний, период затухающих колебаний, коэффициент затухания, время затухания
6. Вынужденные гармонические колебания в системе с одной степенью свободы без затухания
7. Вынужденные гармонические колебания в системе с одной степенью свободы с вязким демпфированием
8. Понятие фазы отклика на гармоническое воздействие с точки зрения динамического отклика. Амплитудная и фазо-частотная характеристики систем с одной степенью свободы при гармоническом воздействии
9. Значение круговой частоты, при котором реализуется наибольшая амплитуда колебаний. Изменение фазового угла при переходе через резонанс.
10. Разложение возмущающей периодической функции в тригонометрический ряд Фурье. Понятие ортогональности и ортонормальности системы функций. Ряд Фурье в тригонометрической и комплексной формах.
11. Отклик системы с одной степенью свободы на внешний импульс в форме дельта-функции
12. Отклик системы с одной степенью свободы при воздействии в форме функции Хевисайда
13. Отклик системы с одной степенью свободы на воздействие в виде суммы элементарных функций. Решение для воздействия в форме прямоугольного импульса
14. Отклик системы с одной степенью свободы на произвольное возмущение, интеграл Дюамеля
15. Определение интеграла Дюамеля для синусоидального воздействия и для воздействия в виде прямоугольного импульса
16. Свободные колебания системы с двумя степенями свободы. Вывод основных уравнений из второго закона Ньютона
17. Свободные колебания системы с двумя степенями свободы. Собственные частоты и собственные формы колебаний. Задача о колебаниях двух шаров на струне
18. Отклик системы с двумя степенями свободы, обусловленный начальными возмущениями
19. Понятие ортогональности собственных форм колебаний для системы с двумя степенями свободы.
20. Отклик системы с двумя степенями свободы на гармоническое воздействие. Инерционный демпфер
21. Отклик системы с двумя степенями свободы на произвольное воздействие
22. Принцип виртуальных перемещений. Вывод для системы с одной степенью свободы
23. Вывод уравнений движения системы с двумя степенями свободы с использованием принципа виртуальных перемещений
24. Принцип высвобождаемости
25. Уравнения движения систем с большим количеством степеней свободы, вывод с использованием принципа виртуальных перемещений и запись в матричной форме
26. Аналитическое решение системы уравнений с большим количеством степеней свободы при наличии вязкого затухания
27. Численное решение системы уравнений с большим количеством степеней свободы методом Ньюмарка
28. Гипотезы, принимаемые при выводе уравнения изгибных колебаний балки
29. Вывод уравнения изгибных колебаний балки
30. Частоты и формы свободных колебаний балки для различных условий закрепления
31. Решение уравнения свободных изгибных колебаний балки посредством метода Фурье
32. Локальная форма представления внешней нагрузки при помощи обобщенных функций и разложения в ряд Фурье по синусам
33. Решение уравнения вынужденных изгибных колебаний для равномерно распределенной, сосредоточенной и локальной нагрузок
34. Метод взвешенных невязок в форме метода Бубнова-Галеркина: общая характеристика
35. Решение уравнения изгиба балки методом Бубнова-Галеркина
36. Решение уравнения изгибных колебаний методами Бубнова-Галеркина (по пространственным координатам) и Ньюмарка (по времени)
37. Основные принципы метода конечных элементов, виды конечных элементов. Матрицы масс, жесткости и демпфирования
38. Конечный элемент для расчета балочных конструкций
39. Построение уравнений динамики балочных систем при помощи метода конечных элементов

### **Дифференцированный зачет (семестр 7)**

Допуском к сдаче дифференцированного зачета является выполнение всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий рабочей программы дисциплины.

Дифференцированный зачет по дисциплине проходит в форме устного собеседования и ответов на вопросы к

дифференцированному зачету. Преподаватель задает четыре вопроса.

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

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

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

Перечень вопросов к дифференцированному зачету представлен в УМК дисциплины.

### **Экзамен (семестр 8)**

Допуск к экзамену 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-4	
4	7	Раздел 1. Колебательное движение и динамический отклик.	7	2	2	0	5	10	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 2. Основные законы механики.	8	3	3	0	5	10	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 3. Свободные колебания систем с одной степенью свободы.	23	8	4	4	15	10	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 4. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы.	38	11	4	7	27	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Лабораторная работа, Контрольная работа
4	7	Раздел 5. Системы с двумя степенями свободы.	32	10	4	6	22	10	Вопросы к дифференцированному зачету, Лабораторная работа, Контрольная работа
Всего за 7 семестр			108	34	17	17	74	50	
4	8	Раздел 6. Системы с многими степенями свободы.	36	12	6	6	24	20	Вопросы к экзамену
4	8	Раздел 7. Аналитическое исследование изгибных колебаний балок.	35	10	5	5	25	15	Вопросы к экзамену, Лабораторная работа, Контрольная работа
4	8	Раздел 8. Приближенные и численные методы исследования изгибных колебаний балок.	37	12	6	6	25	15	Вопросы к экзамену, Лабораторная работа
Всего за 8 семестр			108	34	17	17	74	50	
Всего по дисциплине			216	68	34	34	148	100	

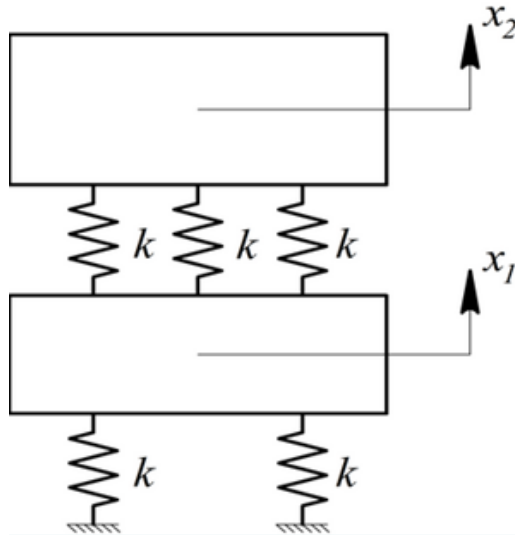
**ПК-4 - Способен проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем для прогнозирования функционирования, оптимизации, ожидаемых рисков и возможных отказов**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Какой математической функцией определяется затухание собственных колебаний линейной колебательной системы?

№ 2 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

№ 3 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. Аперiodический отклик   | D. процесс, которому соответствует значение коэффициента демпфирования                                |

$$\zeta > 1$$

E. бесконечно малое перемещение, удовлетворяющее кинематическим ограничениям

F. процесс, которому соответствует значение коэффициента демпфирования

$$\zeta > 1$$

G. максимальные значения амплитуд собственных колебаний

H. количество объектов в системе

- № 4 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.  $x = C \cos(\omega_n t - \phi)$

- № 5 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

- № 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.  $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(t - \tau) \cos(\omega_n t) d\tau$
4.  $\frac{1}{m\omega_n} \int_0^t F(\tau) \sin[\omega_n(t - \tau)] d\tau$

- № 7 Прочитайте текст и установите 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	A. $C_1 \{u^{(1)}\} \cos(\omega_1 t - \phi_1) + C_2 \{u^{(2)}\} \cos(\omega_2 t - \phi_2)$
2. Круговая частота собственных колебаний системы с одной степенью свободы	B. $\sqrt{\frac{k}{m}}$
3. Безразмерный коэффициент затухания	C. $\frac{c}{2m\omega}$
4. Период колебаний системы с одной степенью свободы	D. $\frac{2\pi}{\omega}$
	E. $\sqrt{\frac{m}{k}}$
	F. $\frac{1}{2\pi\omega}$
	G. $\sqrt{\frac{c}{m\omega}}$
	H. $C_1 \{u^{(1)}\} \sin(\omega_1 t - \phi_1) + C_2 \{u^{(2)}\} \sin(\omega_2 t - \phi_2)$
	I. $\frac{c}{2m\omega}$

№ 8 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)

№ 9 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

№ 10 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

№ 11 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

№ 12 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