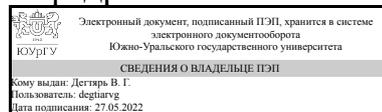


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



В. Г. Дегтярь

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.С1.09 Вибропрочность конструкций летательных аппаратов для специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

**уровень** Специалитет

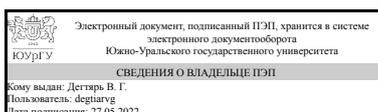
**специализация** Ракетные транспортные системы

**форма обучения** очная

**кафедра-разработчик** Летательные аппараты

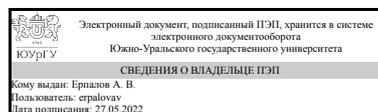
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 964

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.



В. Г. Дегтярь

Разработчик программы,  
к.техн.н., доцент



А. В. Ерпалов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель - изучение принципов определения предельного состояния материалов несущих конструкций изделий в условиях эксплуатационного нагружения и вероятностных методов расчета ресурса и запасов усталостной прочности несущих конструкций. Задачи - сформировать у студентов базовые знания по основам вибробронности конструкций ЛА и изучить основные принципы ее расчета.

## Краткое содержание дисциплины

Механизм усталостного разрушения несущих элементов. Характеристики сопротивления усталости. Вероятностное представление характеристик сопротивления усталости. Характер нагруженности элементов конструкций транспортных систем в условиях эксплуатации. Предельное состояние элементов конструкций при вибрационном нагружении. Оценка накопленного повреждения, методы суммирования усталостных повреждений. Классификация процессов нагружения с точки зрения усталости. Обобщенная диаграмма усталости. Прогнозирование характеристик сопротивления усталости для эксплуатационных нагрузок на стадии проектирования конструкций. Расчеты запасов прочности и ресурса элементов конструкций.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине  |
|--|--|
| ПК-4 Способен проводить расчеты и моделирование аэродинамических, прочностных, жесткостных, массо-центровочных, инерционных и других технических характеристик ракет-носителей и ракет космического назначения | Знает: механизм усталостного разрушения несущих элементов; характеристики сопротивления усталости; вероятностное представление характеристик сопротивления усталости; характер нагруженности элементов конструкций транспортных систем в условиях эксплуатации; предельное состояние элементов конструкций при вибрационном нагружении; оценка накопленного повреждения, методы суммирования усталостных повреждений; классификация процессов нагружения с точки зрения усталости; обобщенная диаграмма усталости<br>Умеет: проводить расчеты запасов прочности и ресурса элементов конструкций; прогнозировать характеристики сопротивления усталости для эксплуатационных нагрузок на стадии проектирования конструкций<br>Имеет практический опыт: определения предельного состояния материалов несущих конструкций изделий в условиях эксплуатационного нагружения и вероятностных методов расчета ресурса и запасов усталостной прочности несущих конструкций |

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

| Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана   | Перечень последующих дисциплин, видов работ |
|---|---|
| Строительная механика ракет,<br>Баллистика летательных аппаратов,<br>Прочность конструкции ракет,<br>Динамика конструкций ракет,<br>Динамика полета ракет,<br>Практикум по виду профессиональной деятельности | Не предусмотрены                            |

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

| Дисциплина                                      | Требования  |
|---|---|
| Практикум по виду профессиональной деятельности | Знает: принципы использования современного программного обеспечения; методики проведения прочностных и динамических расчетов изделий РКТ, методы определения показателей надежности и формы задания требований к надежности изделий ракетно-космической техники, устройство, конструкцию и принцип действия подсистем и агрегатов, процессы, происходящие в изделиях ракетно-космической техники; основные законы реактивного движения, элементы теории полета<br>Умеет: проводить прочностные и динамические расчеты изделий с использованием современных программных средств, разрабатывать математические модели для задания и нормирования требований надежности изделий ракетно-космической техники, читать и анализировать проектную и рабочую конструкторскую документацию для определения состава и устройства изделия с получением необходимых данных для его разработки и изготовления<br>Имеет практический опыт: создания компьютерных моделей изделий РКТ и проведения прочностных и динамических расчетов с использованием современных программных средств, оценки рисков возможных отказов изделий ракетно-космической техники, разработки узлов и агрегатов ракет с использованием современных программных средств САПР |
| Динамика полета ракет                           | Знает: математические модели динамики полета ракет; основные сведения об устойчивости движения летательных аппаратов<br>Умеет: составлять уравнения движения и рассчитывать динамические характеристики устойчивости и управляемости<br>Имеет практический опыт: расчета динамических характеристик управляемости летательных аппаратов   |
| Динамика конструкций ракет                      | Знает: теоретические основы и практические  |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
|                                  | <p>методы динамического анализа конструкций ракет Умеет: определять динамические характеристики конструкции и рассчитать параметры вынужденных колебаний упругой конструкции при детерминированных и случайных внешних воздействиях; Имеет практический опыт: выбора расчетной модели по конструктивно-компоновочной схеме ракеты для определения динамических характеристик</p>  |
| Прочность конструкции ракет      | <p>Знает: принципы и методы прочностного анализа конструкций РКТ(определение напряжений, деформаций и предельных нагрузок при заданных воздействиях), а также синтеза конструкций ( выявления наиболее эффективных конструкторских решений), правила перехода от реального объекта к расчетной схеме для основных элементов ракетной конструкции Умеет: решать задачи определения нагрузок на ЛА и выделять основные и проверочные расчетные случаи; распределения усилий в корпусе ЛА на основе балочной расчетной схемы, определения критических нагрузок потери устойчивости для основных расчетных моделей конструктивных элементов (балка, кольцо, пластина, оболочка), определения запасов прочности и устойчивости конструктивных элементов ЛА Имеет практический опыт: расчетов по обеспечению прочности и жесткости ракетных конструкций</p> |
| Баллистика летательных аппаратов | <p>Знает: общую теорию движения ракет различных типов и назначения в воде, воздухе, безвоздушном пространстве под воздействием внешних сил Умеет: проводить исследование влияния физических условий внешней среды и технических характеристик носителей на баллистические характеристики ракет; создавать алгоритмы баллистического проектирования систем и комплексов ракет применительно к решению конкретных целевых задач Имеет практический опыт: расчета баллистических характеристик ракет</p>   |
| Строительная механика ракет      | <p>Знает: методы расчета силовых конструкций; стержневых систем, пластин, оболочек Умеет: решать задачи по определению напряженно-деформированного состояния конструкции ракет Имеет практический опыт: расчета напряженно-деформированного состояния конструкций и их элементов; сухих и топливных отсеков, герметичных отсеков, ферменных конструкций, раскрывающихся конструкций</p>   |

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 54,25 ч.  
контактной работы

| Вид учебной работы   | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |  |
|--|-------------|------------------------------------|--|
|  |             | Номер семестра                     |  |
|  |             | 9                                  |  |
| Общая трудоёмкость дисциплины  | 108         | 108                                |  |
| <i>Аудиторные занятия:</i>   | 48          | 48                                 |  |
| Лекции (Л)   | 32          | 32                                 |  |
| Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ) | 16          | 16                                 |  |
| Лабораторные работы (ЛР)   | 0           | 0                                  |  |
| <i>Самостоятельная работа (СРС)</i>  | 53,75       | 53,75                              |  |
| Подготовка к зачету  | 13,75       | 13,75                              |  |
| Подготовка к практическим занятиям   | 20          | 20                                 |  |
| Проработка лекционного материала   | 20          | 20                                 |  |
| Консультации и промежуточная аттестация                                    | 6,25        | 6,25                               |  |
| Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)                                   | -           | зачет                              |  |

## 5. Содержание дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    |    |
|-----------|--|---|----|----|----|
|           |  | Всего                                     | Л  | ПЗ | ЛР |
| 1         | Механизм усталостного разрушения и характер усталостных изломов деталей машин. Характеристики сопротивления усталости. | 18  | 14 | 4  | 0  |
| 2         | Расчеты запасов прочности и ресурса элементов конструкций.   | 20  | 8  | 12 | 0  |
| 3         | Характер нагруженности и предельное состояние элементов конструкций ЛА в условиях эксплуатации.                        | 10  | 10 | 0  | 0  |

### 5.1. Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия  | Кол-во часов |
|----------|-----------|--|--------------|
| 1        | 1         | Механизм усталостного разрушения и характер усталостных изломов деталей машин. Малоцикловая и многоцикловая усталость  | 4            |
| 2        | 1         | Характеристики сопротивления усталости металлов. Образцы, схемы и виды нагружения, испытательное оборудование  | 2            |
| 3        | 1         | Кривые усталости материала, типы, уравнения. Предел выносливости   | 2            |
| 4        | 1         | Факторы, влияющие на сопротивление усталости деталей машин (концентрация напряжений, масштабный фактор, качество обработки поверхности детали, методы технологического упрочнения поверхности детали, комплексный учет факторов) | 4            |
| 5        | 1         | Асимметрия нагружения. Модель Гудмана, Гербера, Содерберга   | 2            |
| 6        | 2         | Расчет в области большой долговечности при регулярном циклическом нагружении   | 2            |
| 7        | 2         | Расчет в области ограниченной долговечности при регулярном циклическом нагружении  | 2            |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 8  | 2 | Расчеты при нерегулярном (ступенчатом) циклическом нагружении   | 2 |
| 9  | 2 | Гипотеза линейного суммирования повреждений. Корректированная гипотеза  | 2 |
| 10 | 3 | Общие сведения из теории вероятности и математической статистики. Стационарный случайный процесс. Спектральные характеристики случайного процесса | 2 |
| 11 | 3 | Рассеивание характеристик сопротивления усталости. Методика определения характеристик сопротивления усталости                                     | 4 |
| 12 | 3 | Схематизация случайных процессов. Метод размахов. Метод полных циклов   | 2 |
| 13 | 3 | Структурная схема обеспечения ресурса и запасов прочности элементов ЛА  | 2 |

## 5.2. Практические занятия, семинары

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара               | Кол-во часов |
|-----------|-----------|---|--------------|
| 1         | 1         | Вычисление параметров уравнения кривой усталости материала                        | 4            |
| 2         | 2         | Расчет в области большой долговечности при регулярном циклическом нагружении      | 4            |
| 3         | 2         | Расчет в области ограниченной долговечности при регулярном циклическом нагружении | 4            |
| 4         | 2         | Расчет при нерегулярном (ступенчатом) циклическом нагружении                      | 4            |

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

| Выполнение СРС                     |   |         |              |
|------------------------------------|---|---------|--------------|
| Подвид СРС                         | Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс  | Семестр | Кол-во часов |
| Подготовка к зачету                | Конспект лекций Ерпалова А.В. Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени Под ред. А. П. Гусенкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 363,[1] с. ил. Шефер Л.А. Вибропрочность конструкций. Учебное пособие. Челябинск, издат. центр ЮУрГУ 2009 | 9       | 13,75        |
| Подготовка к практическим занятиям | Конспект лекций Ерпалова А.В. Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени Под ред. А. П. Гусенкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 363,[1] с. ил.  | 9       | 20           |
| Проработка лекционного материала   | Конспект лекций Ерпалова А.В. Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени Под ред. А. П. Гусенкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 363,[1] с. ил.  | 9       | 20           |

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

| № КМ | Се-местр | Вид контроля             | Название контрольного мероприятия          | Вес | Макс. балл | Порядок начисления баллов  | Учитывается в ПА |
|------|----------|--------------------------|--|-----|------------|--|------------------|
| 1    | 9        | Текущий контроль         | Тест 1                                     | 0,3 | 5          | В тесте 5 вопросов.<br>Каждый вопрос оценивается в 1 балл.<br>1 балл: студент верно выбрал вариант/ответил на вопрос<br>0 баллов: ответ не верный  | зачет            |
| 2    | 9        | Текущий контроль         | Тест 2                                     | 0,3 | 5          | В тесте 5 вопросов.<br>Каждый вопрос оценивается в 1 балл.<br>1 балл: студент верно выбрал вариант/ответил на вопрос<br>0 баллов: ответ не верный  | зачет            |
| 3    | 9        | Текущий контроль         | Выполнение и защита практической работы №1 | 1   | 5          | 5 баллов ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности вычислений, обеспечивающей получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления.<br>4 балла ставится, если выполнены требования на максимальный балл, но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.<br>3 балла ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.<br>0-2 балла ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов. | зачет            |
| 4    | 9        | Текущий контроль         | Тест 3                                     | 0,3 | 4          | В тесте 4 вопроса.<br>Каждый вопрос оценивается в 1 балл.<br>1 балл: студент верно выбрал вариант/ответил на вопрос<br>0 баллов: ответ не верный   | зачет            |
| 5    | 9        | Промежуточная аттестация | Выполнение и защита практической           | -   | 5          | 5 баллов ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой  | зачет            |

|   |   |                  |  |     |   |   |       |
|---|---|------------------|--|-----|---|---|-------|
|   |   |                  | работы №2                                  |     |   | <p>последовательности вычислений, обеспечивающей получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления.</p> <p>4 балла ставится, если выполнены требования на максимальный балл, но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.</p> <p>3 балла ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.</p> <p>0-2 балла ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.</p>   |       |
| 6 | 9 | Текущий контроль | Выполнение и защита практической работы №3 | 1,2 | 5 | <p>5 баллов ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности вычислений, обеспечивающей получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления.</p> <p>4 балла ставится, если выполнены требования на максимальный балл, но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.</p> <p>3 балла ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.</p> <p>0-2 балла ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.</p> | зачет |

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

| Вид промежуточной аттестации | Процедура проведения  | Критерии оценивания                     |
|------------------------------|---|---|
| зачет                        | <p>На зачете происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля.</p> <p>При оценивании результатов учебной деятельности обучающегося по дисциплине используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179) В случае недостаточного рейтинга</p> | В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>обучающегося предлагается получения дополнительных баллов за промежуточное испытание, которые включает письменный ответ на контрольные вопросы по всем разделам курса. Студенту задаются 2 вопроса из списка контрольных вопросов. Время, отведенное на опрос - 15 минут При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179) Правильный ответ на вопрос соответствует 2 баллам. Частично правильный ответ соответствует 1 баллу. Неправильный ответ на вопрос соответствует 0 баллов. Максимальное количество баллов – 4</p> |  |
|--|--|--|

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

| Компетенции | Результаты обучения   | № КМ |   |   |   |   |   |
|-------------|---|------|---|---|---|---|---|
|             |   | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ПК-4        | Знает: механизм усталостного разрушения несущих элементов; характеристики сопротивления усталости; вероятностное представление характеристик сопротивления усталости; характер нагруженности элементов конструкций транспортных систем в условиях эксплуатации; предельное состояние элементов конструкций при вибрационном нагружении; оценка накопленного повреждения, методы суммирования усталостных повреждений; классификация процессов нагружения с точки зрения усталости; обобщенная диаграмма усталости | +    | + | + | + | + | + |
| ПК-4        | Умеет: проводить расчеты запасов прочности и ресурса элементов конструкций; прогнозировать характеристики сопротивления усталости для эксплуатационных нагрузок на стадии проектирования конструкций  | +    | + | + | + | + | + |
| ПК-4        | Имеет практический опыт: определения предельного состояния материалов несущих конструкций изделий в условиях эксплуатационного нагружения и вероятностных методов расчета ресурса и запасов усталостной прочности несущих конструкций   | +    | + | + | + | + | + |

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени Под ред. А. П. Гусенкова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 363,[1] с. ил.
2. Шефер, Л. А. Вероятностные методы расчета и запасов прочности несущих элементов конструкций транспортных систем [Текст] монография Л. А. Шефер ; Юж.-Урал. гос. ун-т ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2000. - 250 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. - М.: Машиностроение, 1984. - 312 с. ил.
2. Гусев, А. С. Расчет конструкций при случайных воздействиях Ред. сер.: Н. Н. Малинин (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Ракетная техника.
2. Вопросы ракетной техники.
3. Оборонная техника.
4. Известия ВУЗов: Авиационная техника, ракетная техника и космонавтика.

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. И.Я.Березин, О.Ф.Чернявский Усталостное разрушение металлов и расчеты на прочность и долговечность при переменных напряжениях. Учебное пособие. Челябинск. 2002
2. Шефер Л.А. Вибропрочность конструкций. Учебное пособие. Челябинск, издат. центр ЮУрГУ 2009

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. И.Я.Березин, О.Ф.Чернявский Усталостное разрушение металлов и расчеты на прочность и долговечность при переменных напряжениях. Учебное пособие. Челябинск. 2002
2. Шефер Л.А. Вибропрочность конструкций. Учебное пособие. Челябинск, издат. центр ЮУрГУ 2009

### Электронная учебно-методическая документация

| № | Вид литературы   | Наименование ресурса в электронной форме          | Библиографическое описание  |
|---|--|---|---|
| 1 | Методические пособия для самостоятельной работы студента | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Аджян, А.П. Ракетно-космическая техника. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-22 В двух книгах. Книга первая. [Электронный ресурс] / А.П. Аджян, Э.Л. Аким, О.М. Алифанов, А.Н. Андреев. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2012. — 925 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/5808">http://e.lanbook.com/book/5808</a>  |
| 2 | Дополнительная литература                                | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Каратушин, С. И. Конструкционная прочность : учебное пособие / С. И. Каратушин, И. Н. Титух. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2020. — 39 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/172209">https://e.lanbook.com/book/172209</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.                       |
| 3 | Основная литература                                      | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Мыльников, В. В. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов : монография / В. В. Мыльников. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. — 177 с. — ISBN 978-5-528-00289-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/164803">https://e.lanbook.com/book/164803</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей. |

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Не предусмотрено