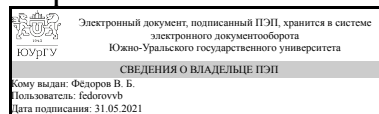


УТВЕРЖДАЮ:  
Декан факультета  
Аэрокосмический



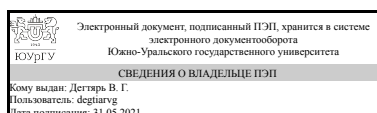
В. Б. Фёдоров

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** Б.1.42 Вибропрочность конструкции ЛА  
**для специальности** 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов  
**уровень** специалист **тип программы** Специалитет  
**специализация** Ракетные транспортные системы  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Летательные аппараты

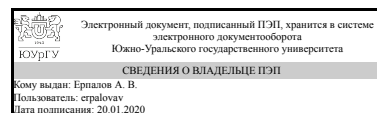
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утверждённым приказом Минобрнауки от 01.12.2016 № 1517

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 вибронности 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 (ЗУНы)
ОК-15 наличием навыков работы с компьютером как средством управления, в том числе в режиме удаленного доступа, способностью работать с программными средствами общего и специального назначения	Знать: принципы работы ПК, принципы использования современного программного обеспечения
	Уметь: проводить математические расчёты и оформлять научно-технические документы с использованием программного средства
	Владеть: навыками решения профессиональных задач с использованием стандартных программ
ПК-26 способностью выбирать и проектировать аппаратуру, проводить диагностирование технического состояния конструкций, сооружений и технических систем	Знать: принципы диагностирования технического состояния конструкций
	Уметь: выбирать аппаратуру для проведения диагностики конструкций и систем
	Владеть: навыками обработки результатов диагностирования технического состояния конструкций

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
ДВ.1.03.01 Динамика конструкций РКТ, Б.1.35 Прочность конструкций РКТ, Б.1.05.02 Математический анализ	Б.1.40 Диагностика технических систем, Б.1.43 Планирование эксперимента и методы обработки результатов

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

Дисциплина	Требования
Б.1.35 Прочность конструкций РКТ	Знание методов расчета на прочность и устойчивость элементов конструкций ракет и космических аппаратов
Б.1.05.02 Математический анализ	Формирование и решение дифференциальных уравнений, описывающих воздействие различных факторов на летательный аппарат
ДВ.1.03.01 Динамика конструкций РКТ	Динамика конструкций в условиях эксплуатации, транспортные вибронагрузки и напряженно-динамическое состояние.

#### 4. Объём и виды учебной работы

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

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>	60	60	
Проработка теоретического материала, выносимого для самостоятельного изучения	40	40	
Подготовка к зачету	20	20	
Вид итогового 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

№	№	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-
---	---	---	------

лекции	раздела		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		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Проработка теоретического материала, выносимого для самостоятельного изучения	Основная и дополнительная литература	40
Подготовка к зачету	Основная и дополнительная литература	20

## 6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Использование информационных ресурсов и баз данных	Практические занятия и семинары	Поиск и изучение специальной литературы	4
Проведение интерактивных лекций	Лекции	Использование презентаций при проведении лекционных занятий	12

## Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: При проведении лекционных занятий приводятся примеры расчета конструкций ЛА в рамках проведения совместных научных работ с АО "ГРЦ Макеева"

## 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Механизм усталостного разрушения и характер усталостных изломов деталей машин. Характеристики сопротивления усталости.	ПК-26 способностью выбирать и проектировать аппаратуру, проводить диагностирование технического состояния конструкций, сооружений и технических систем	Письменный опрос	Список контрольных вопросов-1
Расчеты запасов прочности и ресурса элементов конструкций.	ОК-15 наличием навыков работы с компьютером как средством управления, в том числе в режиме удаленного доступа, способностью работать с программными средствами общего и специального назначения	Письменный опрос	Список контрольных вопросов-2
Характер нагруженности и предельное состояние элементов конструкций ЛА в условиях эксплуатации.	ПК-26 способностью выбирать и проектировать аппаратуру, проводить диагностирование технического состояния конструкций, сооружений и технических систем	Письменный опрос	Список контрольных вопросов-3
Все разделы	ПК-26 способностью выбирать и проектировать аппаратуру, проводить диагностирование технического состояния конструкций, сооружений и технических систем	Зачет	Список вопросов для зачета

### 7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Письменный опрос	Письменный опрос осуществляется на последнем занятии изучаемого раздела. Студенту задаются 1 вопрос 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. Весовой коэффициент мероприятия – 0,1.	Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 % Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %
Зачет		Зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие больше или равен 60 % Не зачтено: рейтинг обучающегося за мероприятие менее 60 %

### 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Письменный опрос	<p>Список контрольных вопросов-1 (для первого раздела)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Механизм усталостного разрушения</li> <li>2. Разновидности усталостного повреждения</li> <li>3. Механизм процесса накопления повреждений</li> <li>4. Диаграмма нагружения (петля гистерезиса)</li> <li>5. Поверхностные повреждения металлов</li> <li>6. Усталостный излом деталей</li> <li>7. Характеристики сопротивления усталости (типы циклов)</li> <li>8. Образцы для усталостных испытаний, схемы нагружения</li> <li>9. Виды нагружений</li> <li>10. Кривая усталости материала (общий вид, определение, база испытаний)</li> <li>11. Типы кривых усталости</li> <li>12. Уравнение Басквина для кривой усталости</li> </ol> <p>Список контрольных вопросов-2 (для второго раздела)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Алгоритм расчета в области большой долговечности при регулярном циклическом нагружении</li> <li>2. Алгоритм расчета в области ограниченной долговечности при регулярном циклическом нагружении</li> <li>3. Алгоритм расчета при нерегулярном (ступенчатом) циклическом нагружении</li> </ol> <p>Список контрольных вопросов-3 (для третьего раздела)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какой процесс называется стационарным случайным с точки зрения усталости материалов? Что такое спектральная плотность случайного процесса?</li> <li>2. Методика определение характеристик сопротивления усталости с учетом рассеивания</li> <li>3. Что такое схематизация случайных процессов? Какие методы бывают и в чем они заключаются?</li> <li>4. Структурная схема обеспечения ресурса и запасов прочности элементов ЛА</li> </ol>
Зачет	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие существуют разновидности усталостного разрушения? В чем состоят отличия условий нагружения, механизмов повреждения и результатов испытаний при мало- и многоциклового усталости?</li> <li>2. Опишите основные признаки излома деталей при многоциклового усталостном</li> </ol>

разрушении. Какими параметрами характеризуется напряженность деталей при циклическом нагружении?

3. В чем состоит принципиальное отличие характеристик прочности металлов при статическом и циклическом нагружениях? Опишите методику проведения усталостных испытаний.

4. Зависимость между какими величинами является основной характеристикой выносливости? Отметьте разновидности этой зависимости для различных металлов и сплавов. Запишите уравнение выносливости, укажите, между какими величинами устанавливается связь в этом уравнении.

5. Назовите основные конструкторско-технологические факторы, влияющие на усталостную прочность деталей. Чем обусловлены и как учитываются в расчетах такие факторы, как концентрация напряжений, размеры и качество обработки поверхности деталей, технологическое упрочнение и другое? Как в расчетах усталостной прочности учитывается влияние комплекса различных конструкторско-технологических факторов?

6. Какой вид циклического нагружения называют асимметричным? Зависимость между какими величинами описывает диаграмма предельных амплитуд при асимметричном нагружении? Сформулируйте понятие эквивалентной по повреждающему действию амплитуды симметричного цикла. Как эквивалентная амплитуда выражается через параметры исходного асимметричного цикла?

7. Опишите подробный алгоритм расчета в области большой долговечности при регулярном циклическом нагружении. В каких случаях он применяется?

8. Опишите подробный алгоритм расчета в области ограниченной долговечности при регулярном циклическом нагружении. В каких случаях он применяется?

9. Опишите подробный алгоритм расчета при нерегулярном (ступенчатом) циклическом нагружении. В каких случаях он применяется?

10. Вследствие чего в расчеты при нерегулярном нагружении возникает необходимость введения гипотез суммирования усталостных повреждений? В чем заключается суть гипотезы линейного суммирования? Запишите условие усталостного разрушения по гипотезе линейного суммирования повреждений и вытекающее из него выражение для расчета усталостной долговечности.

11. Как оценивается рассеивание характеристик сопротивления усталости? Какие дополнительные параметры вводятся в уравнение кривой усталости?

12. Какие методы схематизации случайных процессов существуют? Указать принципиальное отличие каждого из них

13. По каким признакам классифицируются случайные процессы с точки зрения усталости?

## 8. 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. Гудрамович, В. С. Несущая способность и долговечность элементов конструкций Ан УССР. - Киев: Наукова думка, 1981. - 284 с. ил.

2. Кудрявцев, И. В. Усталость крупных деталей машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 237 с. ил.
3. Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов Ч. 1 Справочник: В 2-х ч. АН УССР, Ин-т пробл. прочности. - Киев: Наукова думка, 1987. - 510 с.
4. Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов Ч. 2 Справочник: В 2-х ч. АН УССР, Ин-т пробл. прочности. - Киев: Наукова думка, 1987
5. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. - М.: Машиностроение, 1984. - 312 с. ил.
6. 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. Шефер Л.А. Вибропрочность конструкций. Учебное пособие. Челябинск, издат. центр ЮУрГУ 2009

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

2. Шефер Л.А. Вибропрочность конструкций. Учебное пособие. Челябинск, издат. центр ЮУрГУ 2009

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Методические пособия для самостоятельной работы студента	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. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/5808">http://e.lanbook.com/book/5808</a>	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
2	Дополнительная литература	Матвиенко, Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2006. — 328 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/47550">http://e.lanbook.com/book/47550</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный



3	Основная литература	Дорохов, А.Н. Обеспечение надежности сложных технических систем. / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. — СПб. : Лань, 2016. — 352 с.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
---	---------------------	--	---	---------------------------

## 9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

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

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	246 (2)	Плакаты