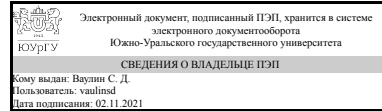


УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Политехнический институт



С. Д. Ваулин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины Б.1.48 Расчеты на прочность систем и агрегатов летательных аппаратов (ЛА)

для специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

уровень специалист тип программы Специалитет

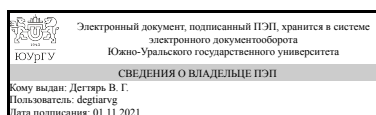
специализация Ракетные транспортные системы

форма обучения очная

кафедра-разработчик Летательные аппараты

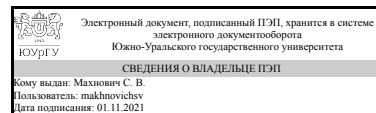
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утверждённым приказом Минобрнауки от 01.12.2016 № 1517

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



В. Г. Дегтярь

Разработчик программы,  
к.техн.н., доц., доцент (кн)



С. В. Махнович

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цели: изучение принципов и методов прочностного анализа конструкций (определение напряжений, деформаций и предельных нагрузок при заданных воздействиях), а также синтеза конструкций (т.е. выявления наиболее эффективных конструкторских решений). Задачи изучения дисциплины: Определение критических нагрузок потери устойчивости для основных расчетных моделей конструктивных элементов (балка, кольцо, пластина, оболочка). Определение запасов прочности и устойчивости конструктивных элементов, отсеков и агрегатов конструкций РКТ

## Краткое содержание дисциплины

Устойчивость ортотропных оболочек (вафельных, стрингерно-шпангоутных, из композиционных материалов) корпуса ракеты. Расчет на прочность конструкции ГЧ. Прочностной расчет конструкции топливного отсека. Расчет на прочность сухих отсеков. Оценка прочности конструкций ЖРД и РДТТ.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПСК-1.2 способностью обосновывать выбор конструктивно-силовых схем отсеков корпуса ракет, проводить расчеты по обеспечению прочности и жесткости ракетных конструкций	Знать: конструктивно-силовые схемы отсеков конструкций РКТ, основы расчетов на прочность и жесткость аэрокосмических конструкций
	Уметь: обосновывать выбор конструктивно-силовых схем отсеков, проводить расчеты на прочность и жесткость аэрокосмических конструкций
	Владеть: методами расчетов на прочность и жесткость аэрокосмических конструкций
ПК-8 способностью проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем с использованием методов системного подхода и современных программных продуктов для прогнозирования поведения, оптимизации и изучения функционирования изделия в целом, а также его подсистем с учетом используемых материалов, ожидаемых рисков и возможных отказов	Знать: основные расчетные схемы для оценки прочности и жесткости аэрокосмических конструкций при математическом моделировании разрабатываемого изделия и его подсистем для прогнозирования поведения, оптимизации и изучения функционирования изделия в целом, а также его подсистем с учетом используемых материалов, ожидаемых рисков и возможных отказов
	Уметь: выполнять расчеты на прочность и жесткость отсеков конструкций РКТ при математическом моделировании разрабатываемого изделия и его подсистем
	Владеть: методами оценки прочности и жесткости отсеков конструкций РКТ при изучении функционирования изделия в целом, а также его подсистем с учетом используемых материалов, ожидаемых рисков и возможных отказов

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.34 Строительная механика ракет, Б.1.35 Прочность конструкций РКТ, В.1.09 Введение в специальность, ДВ.1.06.01 Ракетные двигатели, Б.1.14 Сопротивление материалов	Б.1.41 Проектирование систем теплозащиты и терморегуляции ЛА, Б.1.27 Устройство и конструкция ракет, Б.1.46 Компьютерный инженерный анализ систем РКТ

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

Дисциплина	Требования
Б.1.14 Сопротивление материалов	Знать механические характеристики современных конструкционных материалов и методы их определения. Основные параметры НДС. Методы определения НДС стержневых элементов конструкций. Виды предельных состояний.
Б.1.34 Строительная механика ракет	Методы определения НДС тонкостенных оболочек и пластин
В.1.09 Введение в специальность	Назначение и устройство основных отсеков и агрегатов конструкций РКТ
ДВ.1.06.01 Ракетные двигатели	назначение и устройство основных агрегатов ЖРД и РДТТ
Б.1.35 Прочность конструкций РКТ	Методы оценки нагруженности конструкций РКТ для различных расчётных случаев. Основы устойчивости напряжённого состояния тонкостенных конструкций при сжатии.

### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		9
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64
Лекции (Л)	8	8
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	40	40
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	80	80
Подготовка к экзамену	20	20
Подготовка к практическим занятиям. Оформление лабораторных работ и отчета по лабораторным работам.	60	60

Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен
--	---	---------

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Устойчивость ортотропных оболочек (вафельных, стрингерно-шпангоутных, из композиционных материалов).	28	2	10	16
2	Расчет на прочность элементов конструкции головных частей.	10	2	8	0
3	Прочностной расчет конструкции топливного отсека. Расчет на прочность сухих отсеков.	12	2	10	0
4	Оценка прочности конструкций ЖРД и РДТТ.	14	2	12	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Устойчивость вафельных оболочек при осевом сжатии, внешнем давлении. Оценка оптимальности параметров подкрепления. Устойчивость оболочек из композиционных материалов. Устойчивость оболочки, подкрепленной стрингерно-шпангоутным набором. Метод редуцированных коэффициентов.	2
2	2	Расчеты элементов конструкции ГЧ на прочность.	2
3	3	Расчеты на прочность и устойчивость топливного отсека (гладкий, шпангоутный и др.). Выбор давления наддува. Прочностные расчеты трубопроводов, тоннельной трубы, ВАД. Расчет на прочность и устойчивость сухих отсеков.	2
4	4	Расчет на прочность и устойчивость рам ДУ. Оценка прочности КС ЖРД. Прочность корпуса РДТТ.	2

### 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Устойчивость вафельных оболочек при осевом сжатии, внешнем давлении.	2
2	1	Оценка оптимальности параметров подкрепления. Устойчивость оболочек из композиционных материалов.	2
3	1	Устойчивость оболочки, подкрепленной стрингерно-шпангоутным набором.	2
4	1	Метод редуцированных коэффициентов	2
5	1	Особенности устойчивости оболочек при динамическом и импульсном нагружении.	2
6	2	Расчеты элементов конструкции ГЧ на прочность.	2
7,8	2	Проектировочные расчеты оболочек корпуса ракеты при осевом сжатии и внешнем давлении.	4
9	2	Расчет на прочность и устойчивость подкрепленных оболочек.	2
10	3	Расчеты на прочность и устойчивость топливного отсека (гладкий, шпангоутный и др.). Выбор давления наддува.	2
11	3	Прочностные расчеты трубопроводов, тоннельной трубы, ВАД.	2
12	3	Расчет на прочность и устойчивость сухих отсеков.	2
13	3	Расчет на прочность и устойчивость рам ДУ.	2

14	3	Расчет свободно вложенного и скрепленного с корпусом зарядов на прочность.	2
15	4	Оценка прочности КС ЖРД.	2
16	4	Прочность корпуса РДТТ.	2
17	4	Статические и динамические прочностные испытания конструкций ЛА.	4
18	4	Оценка ресурса элементов конструкций ЛА.	2
19	4	Контрольная работа	2

### 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1,2	1	Местная и общая потеря устойчивости стержней. Изучение местной и общей потери устойчивости силового набора по результатам испытаний на устойчивость алюминиевых прессованных профилей.	4
3,4	1	Устойчивость пластинки при сжатии и сдвиге. Экспериментально определяются критические напряжения потери устойчивости пластинкок при сжатии и сдвиге.	4
5,6	1	Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии. Экспериментально определяется величина критической нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости оболочки	4
7,8	1	Устойчивость цилиндрической оболочки при внешнем боковом давлении. Исследуются формы потери устойчивости, влияние способов закрепления.	4

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к экзамену.	Основная и дополнительная литература	20
Подготовка к практическим занятиям. Оформление лабораторных работ и отчета по лабораторным работам.	[1], [2], [3], [4]	60

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

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Компьютерное моделирование и практический анализ результатов	Практические занятия и семинары	Расчет реальных конструкций и анализ результатов	32
Разбор конкретных ситуаций	Практические занятия и семинары	Анализ структуры сложного изделия	8
Разбор конкретных ситуаций	Лекции	Анализ структуры сложного изделия	8

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

Инновационные формы обучения	Краткое описание и примеры использования в темах
------------------------------	--

	и разделах
Использование информационных ресурсов и баз данных	<a href="http://rudocs.exdat.com">http://rudocs.exdat.com</a> <a href="http://mirknig.com">http://mirknig.com</a>

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: В лекциях и практических занятиях используются методы проектирования и инженерного анализа конструкций ЛА, сформированные при выполнении НИР по контрактам для ОАО "ГРЦ Макеева": Расчет разброса нагрузок при старте на ТПК с произвольной непрямолинейностью для формирования предварительных режимов нагружения статических испытаний. Контракт №Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.11 Разработка методики и проведение расчётов по подтверждению и уточнению газодинамических и ударно-волновых нагрузок на ракету, транспортно- пусковой контейнер и шахтную пусковую установку при старте . ОАО "ГРЦ Макеева" Контракт №Н/2/5/11-11- от 21.07.12 Разработка методики и проведение расчетов по подтверждению и уточнению тепловых нагрузок на теплозащитное покрытие гиперзвуковых летательных аппаратов Контракт №Н/2/5/11-11- от 21.07.13 Разработка и экспериментальная отработка методических материалов для уточнения математических динамических моделей изделия Программно-аппаратный комплекс модальных испытаний сложных технических систем ОАО "ГРЦ Макеева Контракт №Н/2/5/11-11- от 21.07.14

## 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
Все разделы	ПК-8 способностью проводить математическое моделирование разрабатываемого изделия и его подсистем с использованием методов системного подхода и современных программных продуктов для прогнозирования поведения, оптимизации и изучения функционирования изделия в целом, а также его подсистем с учетом используемых материалов, ожидаемых рисков и возможных отказов	Экзамен	1-19
Все разделы	ПСК-1.2 способностью обосновывать выбор конструктивно-силовых схем отсеков корпуса ракет, проводить расчеты по обеспечению прочности и жесткости ракетных конструкций	экзамен	1-19

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

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
экзамен	экзамен проводится в форме устного опроса. При этом учитывается активность	Отлично: 86-100 баллов. полный правильный ответ на все вопросы задания. вопросы

	<p>работы студента на практических занятиях при выполнении индивидуальных заданий</p> <p>Каждому студенту выдается индивидуальное задание, состоящее из трех вопросов. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179)</p>	<p>раскрыты полностью, студент понимает значение терминов, свободно отвечает на дополнительные вопросы</p> <p>Хорошо: 74-86 баллов. при одном неверном ответе, в случае верных ответов на другие вопросы, студент в основном понимает значение терминов, не уверенно отвечает на дополнительные вопросы</p> <p>Удовлетворительно: 60-73 балла. при поверхностном представлении вопросов, без достаточного их обоснования вопросы раскрыты не полностью, студент лишь частично понимает значение терминов или искажает их смысл, на дополнительные вопросы отвечает частично или не отвечает</p> <p>Неудовлетворительно: 0-59 баллов. неверные ответы, студент не владеет терминологическим аппаратом, не отвечает на дополнительные вопросы</p>
--	---	---

### 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
экзамен	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка общей и местной устойчивости конструктивно-ортотропных оболочек при внешнем давлении.</li> <li>2. Устойчивость вафельных оболочек (допущения, коэффициенты жесткости, критические нагрузки).</li> <li>3. Устойчивость вафельных оболочек при осевом сжатии и внешнем давлении. Условия оптимальности (равнопрочности).</li> <li>4. Устойчивость многослойных оболочек из композиционных материалов КМ (приведенные жесткости, критические нагрузки).</li> <li>5. Влияние структуры КМ на приведенные упругие характеристики оболочки.</li> <li>6. Устойчивость вафельных оболочек из КМ.</li> <li>7. Устойчивость 3-х слойных оболочек.</li> <li>8. Устойчивость 2-х слойных оболочек.</li> <li>9. Устойчивость сферической оболочки (металлическая, КМ, 2-х слойная).</li> <li>10. Расчет на прочность элементов ГЧ. Оболочки корпуса, днища.</li> <li>11. Расчет на прочность оболочек топливного отсека.</li> <li>12. Расчет на прочность трубопроводов и баллонов ВАД.</li> <li>13. Расчет на прочность тоннельной трубы.</li> <li>14. Расчет на прочность ферменного отсека.</li> <li>15. Расчет на прочность хвостового отсека.</li> <li>16. Расчет на прочность приборного отсека.</li> <li>17. Прочность металлического и комбинированного корпуса РДТТ.</li> <li>18. Прочность композитного корпуса РДТТ (проектировочный и проверочный расчет).</li> <li>21. Прочность камеры сгорания ЖРД</li> </ol> <p>Вопросы экзамена Расчёт на прочность агрегатов РКТ 2ч.docx</p>

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Авдониц, А. С. Расчет на прочность летательных аппаратов Текст Учеб. пособие. - М.: Машиностроение, 1985. - 440 с.

2. Балабух, Л. И. Строительная механика ракет Текст Учебник Л. И. Балабух, Н. А. Алфутков, В. И. Усюкин. - М.: Высшая школа, 1984. - 391 с. ил.

*б) дополнительная литература:*

1. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин Справ. И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. - 639 с. ил.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов Ред. Н. Н. Малинин. - М.: Машиностроение, 1988. - 271 с. ил.
3. Лизин, В. Т. Проектирование тонкостенных конструкций Учеб. пособие для вузов по направлению "Авиа-и ракетостроение" В. Т. Лизин, В. А. Пяткин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1994. - 380,[1] с. ил.
4. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин Справ. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 с. ил.
5. Алфутков, Н. А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1991. - 334 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. Характеристики и критерии эффективности материалов

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

1. Характеристики и критерии эффективности материалов

**Электронная учебно-методическая документация**

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Матвеевко, А.М. Самолеты и вертолеты. Том IV-21. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов. Книга 2. [Электронный ресурс] / А.М. Матвеевко, А.И. Акимов, М.Г. Акопов, Н.В. Алексеев. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2004. — 752 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/791">http://e.lanbook.com/book/791</a>
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Нестеров, В.А. Проектирование установок ракетного вооружения летательных аппаратов. [Электронный ресурс] / В.А. Нестеров, М.Ю. Куприков, Л... Маркин. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2008. — 288 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/747">http://e.lanbook.com/book/747</a>
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства	Гречух И. Н., Гречух Л. Прочность ракетных конструкций: учеб. пособие Омский государственный технический университет, учебное пособие 251 стр. 2019 <a href="https://e.lanbook.com/book/149078">https://e.lanbook.com/book/149078</a>



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

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)
3. PTC-MathCAD(бессрочно)
4. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(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
Практические занятия и семинары	105 (2)	Слайды по прочностным испытаниям конструкций и их узлов. Плакаты и схемы по устойчивости оболочек. Для лабораторных работ в учебно-производственной лаборатории кафедры изготавливаются образцы стержней и оболочек для испытаний
Лекции	105 (2)	Слайды по прочностным испытаниям конструкций и их узлов. Плакаты и схемы по устойчивости оболочек. Для лабораторных работ в учебно-производственной лаборатории кафедры изготавливаются образцы стержней и оболочек для испытаний
Лабораторные занятия	105 (2)	Испытательные стенды и образцы для испытаний. При изучении курса используется кинофильм "Система автоматизированного проектирования ЛА", 36 мм, 3 части, черно-белый, (кафедра, ДСП). Слайды по прочностным испытаниям конструкций и их узлов. Плакаты и схемы по устойчивости оболочек. Для лабораторных работ в учебно-производственной лаборатории кафедры изготавливаются образцы стержней и оболочек для испытаний