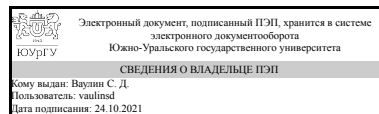


УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Политехнический институт



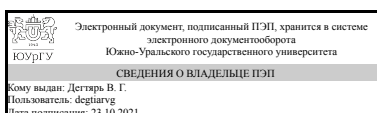
С. Д. Ваулин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** Б.1.35 Прочность конструкций РКТ  
**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

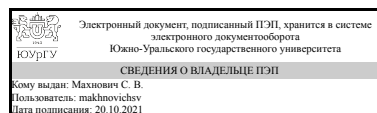
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, утверждённым приказом Минобрнауки от 01.12.2016 № 1517

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 РКТ(определение напряжений, деформаций и предельных нагрузок при заданных воздействиях), а также синтеза конструкций ( выявления наиболее эффективных конструкторских решений). Задачи изучения дисциплины: — усвоить правила перехода от реального объекта к расчетной схеме для основных элементов ракетной конструкции; знать специальную литературу и другие информационные источники для решения задач по определению напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости этих элементов. — иметь представление об основных научно-технических проблемах в области прочности ракет, о существующих мерах и методах обеспечения прочностной надежности в процессе разработки, изготовления и испытаний конструкций ракет; — научиться решать задачи по определению нагрузок на ЛА и выделять основные и проверочные расчетные случаи; по построению эпюр распределения усилий в корпусе ЛА на основе балочной расчетной схемы; по определению критических нагрузок потери устойчивости для основных расчетных моделей конструктивных элементов (балка, кольцо, пластина, оболочка); по определению запасов прочности и устойчивости конструктивных элементов ЛА;

### Краткое содержание дисциплины

Основные этапы и задачи обеспечения прочности при разработке конструкции ЛА. Конструктивно-силовые схемы ЛА. Расчетные случаи для конструкций ЛА. Нормы прочности. Предельные состояния силовых конструкций ЛА. Расчётные модели и определение действующих нагрузок. Устойчивость тонкостенных элементов конструкции ЛА. Устойчивость стержней. Устойчивость пластин и оболочек. Проверочные и проектировочные расчёты на прочность.

## 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: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; знать специальную литературу и другие информационные источники для решения задач по определению напряженно-деформированного состояния и оценки устойчивости и запасов прочности этих элементов.
	Уметь:решать задачи определения нагрузок на ЛА и выделять основные и проверочные расчетные случаи; распределения усилий в корпусе ЛА на основе балочной расчетной

	<p>схемы, определения критических нагрузок потери устойчивости для основных расчетных моделей конструктивных элементов (балка, кольцо, пластина, оболочка), определения запасов прочности и устойчивости конструктивных элементов ЛА;</p> <p>Владеть: методами расчетов по обеспечению прочности и жесткости ракетных конструкций, выбора конструктивно-силовых схем отсеков корпуса ракет,</p>
<p>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</p>	<p>Знать: современные проблемы математического моделирования конструкций РКТ и внешних воздействий; понятия и подходы к математическому моделированию сложных конструкций;</p>
	<p>Уметь: использовать свои знания для построения математической модели прочностной надёжности конструкций РКТ, оценивать корректность постановок задач, представлять итоги проделанной работы,</p>
	<p>Владеть: навыками решения задач математического моделирования прочностной надёжности конструкций и выбора конструктивно-силовых схем</p>

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
<p>Б.1.30 Проектирование РКТ, Б.1.09 Теоретическая механика, В.1.10 Аэрогазодинамика РКТ, Б.1.05.02 Математический анализ, Б.1.34 Строительная механика ракет, Б.1.14 Сопротивление материалов, Б.1.07 Информатика и программирование</p>	<p>Б.1.42 Вибропрочность конструкции ЛА, Б.1.48 Расчеты на прочность систем и агрегатов летательных аппаратов (ЛА)</p>

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

Дисциплина	Требования
Б.1.09 Теоретическая механика	Уравнения статики и динамики твёрдого тела
Б.1.30 Проектирование РКТ	Проектные параметры ракет. Анализ распределения масс агрегатов ракет.
Б.1.07 Информатика и программирование	Программирование, технические расчеты с помощью компьютера
Б.1.14 Сопротивление материалов	Расчётные схемы анализа прочности основных элементов конструкций машиностроения (стержней, пластин, оболочек). Методы определения напряжений и деформаций.
Б.1.34 Строительная механика ракет	знать основные расчётные схемы и методы расчета НДС элементов конструкций ракет и

	космических аппаратов
Б.1.05.02 Математический анализ	Методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений
В.1.10 Аэрогидрогазодинамика РКТ	уметь:определять аэродинамические силы для тел классических форм в потоке газа(сфера конус цилиндр и их сочетания)

#### 4. Объём и виды учебной работы

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

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	24	24	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	40	40	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	80	80	
Подготовка к экзамену	20	20	
Курсовая работа	60	60	
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен,КР	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Задачи обеспечения прочности при разработке конструкции ЛА. Конструктивно-силовые схемы ЛА.	4	4	0	0
2	Расчетные случаи для конструкций ЛА на основных этапах жизненного цикла. Определение действующих нагрузок в основных расчётных случаях.	22	6	16	0
3	Устойчивость тонкостенных элементов конструкции ЛА. Устойчивость стержневых элементов.	16	6	10	0
4	Устойчивость пластин и оболочек.	22	8	14	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	История науки о прочности. Роль российских ученых, научных школ, ВУЗов, КБ в развитии науки о прочности.	2
2	1	Конструктивно-силовые схемы ЛА. Требования прочности и жесткости. Силы, действующие на ЛА. Классификация сил.Расчетные случаи для ЛА.	2

		Основные и проверочные.	
3	2	Активный участок. Конечный участок. Определение действующих нагрузок. Построение эпюр.	2
4	2	Наземные случаи эксплуатации. Расчет нагрузок.	2
5	2	Расчет на прочность конструкций по методу разрушающих нагрузок. Расчеты на устойчивость.	2
6	3	Устойчивость тонкостенных элементов конструкций ЛА. Устойчивость стержней (задача Эйлера). Влияние граничных условий, пластических деформаций.	2
7,8	3	Анализ общей и местной устойчивости тонкостенных стержней, колец	4
9	4	Устойчивость пластин при сжатии. Устойчивость пластин при сдвиге и совместном действии нагрузок	2
10	4	Устойчивость оболочки при осевом сжатии. Влияние наддува, изгиба и пластических деформаций на устойчивость.	2
11	4	Устойчивость оболочки при внешнем давлении. Влияние способов закрепления торцов на величину критического давления.	2
12	4	Устойчивость оболочки при одновременном действии осевого сжатия и внешнего давления; при осевом сжатии, кручении и внешнем давлении. Устойчивость сферических оболочек.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Расчет нагрузок для расчётных случаев А <sub>о</sub> , А <sub>в</sub> .	2
2	2	Разбор примеров с целью проверки выполнения студентами методических указаний при изучении этого раздела и усвоения ими материала. Выдача задания на курсовую работу	2
3	2	Выдача задания на курсовую работу. Разбор на примерах особенностей и основных этапов выполнения работы	2
4	2	Расчет нагрузок на корпус для случая Сш	2
5	2	Расчет нагрузок на корпус для случая По.	2
6	2	. Освоение рациональных приемов решения с целью уменьшения вероятности возможных ошибок при выполнении первой и второй задач курсовой работы.	2
7	2	Расчет нагрузок на головной отсек и спускаемый аппарат	2
8	2	Компоновка ГЧ и подготовка расчетной модели.	2
9	3	Расчет ВСФ и построение эпюр распределения их в осевом направлении (к р).	2
10	3	Местная и общая устойчивость тонкостенных стержней.	2
11	3	Проектировочные расчеты сжатых стержней и пластин.	2
12	3	Устойчивость стержней и пластин. Оценка устойчивости подкрепленной цилиндрической панели.	2
13	3	Решение задач проектирования подкреплённых панелей (к р)	2
14	4	Устойчивость оболочек при осевом сжатии.	2
15	4	Устойчивость оболочек при внешнем давлении	2
16	4	Проектировочные расчеты оболочек корпуса ракеты при осевом сжатии и внешнем давлении (гладкие оболочки).	2
17	4	Проектировочный расчет подкреплённой оболочки (к р)	2
18	4	Проектировочные расчеты оболочек корпуса ракеты при осевом сжатии и	2

		внешнем давлении и совместном действии нагрузок.	
19	4	Прочность и устойчивость подкрепленных оболочек при поперечном изгибе	2
20	4	Расчет на прочность сферических и эллипсоидных оболочек.	2

### 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
Подготовка к экзамену.	Основная и дополнительная литература	20
Курсовая работа. Расчет нагруженности корпуса ЛА. Определение аэродинамических и инерционных нагрузок. Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для балочной расчетной схемы корпуса. Определение опасных по прочности сечений (отсеков). Проектировочный расчет оболочек сухого и топливного отсеков.	Основная и дополнительная литература. Задание Содержание пояснительной записки КР Расчёт на прочность РКТ в Приложении	60

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

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Разбор конкретных ситуаций	Практические занятия и семинары	Выбор структуры сложного изделия	8
Разбор конкретных ситуаций	Лекции	Выбор конструктивно-силовой схемы сложного изделия	8
Компьютерное моделирование и практический анализ результатов	Практические занятия и семинары	Расчет реальных конструкций и анализ результатов	22

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

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: В лекциях и практических занятиях используются методы оценки нагруженности и прочности конструкций ЛА, сформированные при выполнении НИР по контрактам для ОАО "ГРЦ Макеева": Расчет разброса нагрузок при старте на ТПК с произвольной не прямолинейностью для формирования предварительных режимов нагружения статических испытаний. Контракт №Н/2/5/11-11-от 21.07.11 Разработка методики и проведение расчётов по подтверждению и уточнению газодинамических и ударно-волновых нагрузок на

ракеты, транспортно- пусковой контейнер и шахтную пусковую установку при старте  
 . ОАО "ГРЦ Макеева" Контракт №Н/2/5/11-11- от 21.07.12

## 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	Вопросы экзамена Прочность конструкций РКТ в Приложении
Все разделы	ПСК-1.2 способностью обосновывать выбор конструктивно-силовых схем отсеков корпуса ракет, проводить расчеты по обеспечению прочности и жесткости ракетных конструкций	экзамен	Вопросы экзамена Прочность конструкций РКТ
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	курсовая работа	Задание, содержание расчётно- пояснительной записки КР Расчёт на прочность РКТ в приложении

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

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
экзамен	Каждому студенту выдается индивидуальное задание, состоящее из двух- трех вопросов. Задания сформированы таким образом, чтобы охватить изученные разделы дисциплины. При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179)	Отлично: 100-85 баллов Хорошо: 70-84 баллов Удовлетворительно: 60-74 баллов Неудовлетворительно: 0-59 баллов
курсовая работа	Студент сдаёт пояснительную записку по результатам работы и защищает её в форме презентации и доклада	Отлично: Правильное решение всех задач, интересное изложение результатов работы; убедительные ответы на вопросы;

		<p>выполнение всех требований к оформлению;</p> <p>Хорошо: в расчётной части присутствуют несущественные ошибки, достаточно корректное изложение результатов работы; неубедительные ответы на вопросы;; невыполнение некоторых требований к оформлению;</p> <p>Удовлетворительно: поверхностное отношение к работе ошибки в расчётах, не систематичность в работе, невыполнение требований к оформлению;</p> <p>Неудовлетворительно: при отсутствии результатов работы и презентации. или несамостоятельность выполнения курсовой работы, некомпетентность в задачах представленной записки, при плохой защите курсовой работы, небрежном и неаккуратном ее оформлении.</p>
--	--	---

### 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
экзамен	<p>Комплекс работ по обеспечению прочности конструкций.</p> <p>. Классификация сил, действующих на ЛА.</p> <p>. Расчетные случаи нагружения корпуса ЛА (А, П, Т, С).</p> <p>Силы, действующие на ЛА в полете на АУТ.</p> <p>. Построение эпюр ВСФ в корпусе ЛА для расчетных случаев АУТ.</p> <p>Силы, действующие на корпус ГЧ на ПУТ.</p> <p>Построение эпюр ВСФ в корпусе ГЧ для расчетных случаев ПУТ.</p> <p>. Нагруженность корпуса ЛА при транспортировке в горизонтальном положении (ЭQ, ЭM).</p> <p>. Нагруженность корпуса ЛА при транспортировке в шахте РПЛ (ЭQ, ЭM).</p> <p>. Нагруженность корпуса ЛА при установке на стартовый стол (ЭQ, ЭM).</p> <p>Нагруженность корпуса ЛА при стоянке на стартовой позиции (ЭQ, ЭM).</p> <p>Последовательность расчета на прочность корпуса ЛА. Предельное состояние конструкций.</p> <p>Принцип расчета по разрушающим нагрузкам.</p> <p>Нагруженность корпуса ЛА при старте из ШПЛ (ЭQ, ЭM).</p> <p>Литература- Гриненко НИ, Алфутов НА ,Балабух ЛИ, Ахметзянов</p> <p>Устойчивость стержней. Задача Эйлера.</p> <p>Устойчивость стержней. Влияние граничных условий, пластических деформаций.</p> <p>Устойчивость пластин. Пластина с 2 свободными кромками.</p> <p>Устойчивость шарнирно опертой по кромкам пластины. Местная и общая потеря устойчивости тонкостенных стержней.</p> <p>Устойчивость пластины при комбинированном нагружении ( <math>q_1 ; q_2</math> ).</p> <p>Устойчивость пластины, подкрепленной силовым набором. Решение Т.Кармана.</p> <p>Устойчивость сжатого радиальной нагрузкой кольца.</p> <p>Устойчивость цилиндрической оболочки при внешнем давлении. Коэффициент хлопка.</p> <p>. Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии (осесимметричная форма).</p> <p>Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии (неосесимметричная форма).</p> <p>Устойчивость цилиндрической оболочки при совместном действии нагрузок.</p> <p>Особенности расчета сжатой оболочки при наличии внутреннего давления, изгиба,</p>



	пластических деформаций. Коэффициент хлопка. Литература- Балабух ЛИ , Алфутов НА , Лизин ВТ Биргер ИА Вопросы экзамена Прочность конструкций РКТ .docx
курсовая работа	1. Расчет нагруженности корпуса ЛА на активном участке траектории. Определение аэродинамических и инерционных нагрузок. Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для балочной расчетной схемы корпуса. Определение опасных по прочности сечений (отсеков). 2. Расчет нагруженности спускаемого аппарата на пассивном участке траектории. Определение аэродинамических и инерционных нагрузок. Построение эпюр продольных, поперечных сил и изгибающих моментов для балочной расчетной схемы корпуса. Определение опасных по прочности сечений (отсеков). Задание Содержание пояснительной записки КР Расчет на прочность РКТ.doc

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Балабух, Л. И. Строительная механика ракет Текст Учебник Л. И. Балабух, Н. А. Алфутов, В. И. Усюкин. - М.: Высшая школа, 1984. - 391 с. ил.
2. Авдонин, А. С. Расчет на прочность летательных аппаратов Текст Учеб. пособие. - М.: Машиностроение, 1985. - 440 с.

#### б) дополнительная литература:

1. 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.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов Ред. Н. Н. Малинин. - М.: Машиностроение, 1988. - 271 с. ил.
3. Алфутов, Н. А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1991. - 334 с. ил.
4. Гриненко, Н. И. Прочность корпуса баллистической ракеты [Текст] конспект лекций Н. И. Гриненко ; Челябин. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола ; ЮУрГУ. - Челябинск: ЧПИ, 1975. - 134 с. ил.
5. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин Справ. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1979. - 702 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.
5. Космические исследования : науч. журн. / Рос. акад. наук, Президиум РАН
6. Полет: Авиация. Ракетная техника. Космонавтика: Общерос. науч.-техн. журн. / Изд-во "Машиностроение"

#### 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	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. 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
Лекции	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 ис-пытаниям конструкций и их узлов. Плакаты и схемы по устойчивости оболочек. В учебно-производственной лаборатории кафедра изготавливаются образцы стержней и оболочек для испытаний
Практические занятия и семинары	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 ис-пытаниям конструкций и их узлов. Плакаты и схемы по устойчивости

		оболочек. В учебно-производственной лаборатории кафедры изготавливаются образцы стержней и оболочек для испытаний
--	--	--