

4448

Министерство образования и науки Российской Федерации

БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. УСТИНОВА



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор -  
проректор по образовательной  
деятельности

В.А. Бородавкин

« 27 » 08 2017

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Строительная механика ЛА

(указывается наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)

Направление/  
специальность подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация  
ракет и ракетно-космических комплексов

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Специализация/профиль/программа  
подготовки Моделирование и информационные технологии  
проектирования ракетно-космических систем

Уровень высшего образования специалитет

(бакалавриат/ магистратура/ специалитет)

Форма обучения очная

Факультет А Ракетно-космической техники

(указывается индекс и полное наименование факультета Университета, заказавшего программу)

Выпускающая кафедра А1 Ракетостроение

(указывается индекс и полное наименование выпускающей кафедры)

Кафедра-разработчик  
рабочей программы А1 Ракетостроение

(указывается индекс и полное наименование кафедры, составившей и реализующей программу)

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (ПО НАЛИЧИЮ ВИДОВ ЗАНЯТИЙ)													Вид промежуточного контроля
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ						САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА						
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ		ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАНЯТИЙ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	РАСЧЁТНО - ГРАФ. РАБОТА	РЕФЕРАТ	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
							ПРАКТИЧЕСК ИЕ ЗАНЯТИЯ	СЕМИНАРЫ								
3	6	4	144	51	34	-	17		-	93	-	-	-	-	93	ЭКЗ.
4	7	5	180	51	34	-	17		-	129	-		-	-	129	ЭКЗ.
Итого		9	324	102	68	-	34		-	222	-		-	-	222	

Начальник отдела основных образовательных программ  
/ А.А. Русина /  
« 27 » 08 2017

САНКТ – ПЕТЕРБУРГ  
2017 г.

## 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**

(указывается индекс и наименование направления специальности)

Программу составили:

Кафедра А1

Сятчихин Алексей Александрович, преподаватель



Эксперт(ы): представитель ОАО «КБСМ»

Начальник расчетно-исследовательского отделения

Щеглов Дмитрий Константинович, к.т.н.



Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **A1 Ракетостроение**

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

« 31 » 08 2017 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры **A1 Ракетостроение**

(индекс и наименование выпускающей кафедры)

« 31 » 08 2017 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 24.00.00

(индекс)

Авиационная и ракетно-космическая техника

(полное наименование направления)

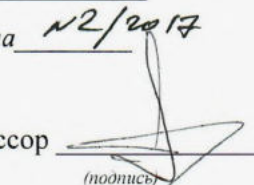
№ протокола

№2/2017

« 31 » 08 2017 г. Председатель УМК по УГНиСП Бородавкин В.А., д.т.н., профессор

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

« 31 » 08 2017 г. Директор библиотеки БГТУ Сесина Н.В.

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



## 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 преподавания
- Приложение 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
- Приложение 4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
- Приложение 5. Фонды оценочных средств
- Приложение 6. Справка о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы
- Приложение 7. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций на уровнях:

### Общекультурных\*

ОК-2 – способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач.	Пороговый уровень
---	-------------------

### Общепрофессиональных\*

ОПК-2 – пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей).	Пороговый уровень
--	-------------------

### Профессиональных\*

ПК-1 – способность работать в информационно-коммуникационном пространстве, проводить твердотельное компьютерное моделирование, прочностные, динамические и тепловые расчеты с использованием программных средств общего назначения	Пороговый уровень
--	-------------------

Формированию указанных компетенций служит достижение следующих результатов образования:

#### знания:

- на уровне представлений:

- основы теории расчета на прочность и устойчивость стержней, пластин и оболочек при различных способах нагружения и закрепления (ОК-2, ОПК-2);
- анализ поведения отдельных элементов внутри силовой конструкции и их взаимодействие с другими элементами (ПК-1).

- на уровне воспроизведения:

- составление расчетных схем силовых конструкций для проведения анализа и оценки несущей способности (ПК-1).

- на уровне понимания:

- понимать возможности инженерных пакетов для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкции ракетно-космической техники (ОПК-1, ПК-1).

#### умения:

- проводить анализ конструкции на прочность и устойчивость при различных способах нагружения, применять методы поиска оптимальных решений с использованием компьютерных технологий (ОК-2, ОПК-1, ПК-1).

#### навыки:

- владеть методиками анализа конструкции на прочность и устойчивость при различных способах нагружения, применять компьютерные технологии на стадиях анализа и синтеза проектных решений на этапах проектирования (ОК-2, ПК-1).



## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Строительная механика ЛА» является дисциплиной *базовой части* Блока 1 программы.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин:

- физика;
- теоретические основы информатики;
- теоретическая механика;
- материаловедение и технологии конструкционных материалов;
- электротехника и электроника;
- сопротивление материалов;
- гидрогазоаэродинамика;
- основы устройства и конструкции ракет;
- баллистика ракет.
- двигатели летательных аппаратов;

и служит основой для освоения дисциплин:

- синтез ракетных систем;
- теория принятия решений;
- количественные методы оценки эффективности;
- стартовое оборудование;
- теория конструирования;
- испытания ракетных систем.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

ОК-11 – способностью к работе в многонациональном коллективе, в том числе и над междисциплинарными, инновационными проектами;

ОК-14 – способностью получать и обрабатывать информацию из различных источников, используя самые современные информационные технологии, способностью критически осмысливать полученную информацию выделять в ней главное, создавать на ее основе новые знания;

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;

ОПК-1 – пониманием целей и задач инженерной деятельности в современной науке и производстве, сущности профессии инженера как обязанности служить обществу и профессии, следуя кодексу профессионального поведения

ПК-2 – способностью анализировать состояние и перспективы развития как ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений, создавать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(с распределением общего бюджета времени в часах)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Номера разделов	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				Самостоятельная работа студентов	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ		
					ВСЕГО	Лекции	Аудиторный практикум (семинар)	Лабораторный практикум		ОК-2	ОПК-2	ПК-1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14
3	6	1	<b>Раздел 1. Введение.</b> 1.1. Предмет и задачи курса. 1.2. Обзор содержания дисциплины и рекомендуемая литература	2	2	2				-	5%	5%
		2	<b>Раздел 2. Модель конструкции и ее расчетная схема.</b> 2.1. Конструкция и ее модель. Модели геометрической формы, материала, нагрузки и способов закрепления. 2.2. Расчетная схема, как вариант математической модели. Этапы составления расчетной схемы. 2.3. Теории предельных напряженных состояний.	36	11	9	2		25	10%	5%	5%
		3	<b>Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.</b> 3.1. Гипотезы линейной теории упругости. Теория напряжений, принцип Сен-Венана. 3.2. Уравнения равновесия, геометрические и физические уравнения. Общая система уравнений напряженно-деформированного состояния элемента конструкции. 3.3. Температурные напряжения и деформации. Методы расчета температурных полей в типовых элементах конструкции ЛА.	40	15	9	6		25	10%	10%	10%
		4	<b>Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой.</b> 4.1. Расчетная схема для определения напряжений и деформаций. 4.2. Исходная система уравнений	28	7	4	3		21	10%	10%	10%

			теории упругости для плоской деформации в цилиндрических координатах. 4.3. Контактное давление на границе между зарядом и оболочкой корпуса.									
		5	<b>Раздел 5. Напряженно-деформированное состояние стержней.</b> 5.1. Растяжение и сжатие стержней. Гипотеза плоских сечений. Напряжения в наклонных сечениях. 5.2. Напряжения и деформации при изгибе. Жесткость стержней. Косой и сложный изгиб. Уравнение нейтральной оси. Касательные напряжения.	17	7	4	3		10	10%	10%	10%
		6	<b>Раздел 6. Тонкие пластины.</b> 6.1. Классификация пластин. Гипотезы Кирхгофа в теории тонких пластин. 6.2. Уравнение изогнутой срединной поверхности пластины. 6.3. Пластина, нагруженная внешним давлением.	21	9	6	3		12	10%	10%	10%
3	6		<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>	144	51	34	17		93	50%	50%	50%
4	7	7	<b>Раздел 7. Теория тонких оболочек.</b> 7.1. Гипотезы теории тонких оболочек. Деформация срединной поверхности и произвольного слоя оболочки. 7.2. Физические уравнения. Внутренние погонные усилия и моменты в оболочке. 7.3. Уравнения равновесия.	17	8	6	2		9	10%	10%	10%
		8	<b>Раздел 8. Безмоментные оболочки.</b> 8.1. Уравнения безмоментной теории. 8.2. Напряжения и перемещения в оболочках, нагруженных внутренним давлением. 8.3. Напряжения в оболочках, заполненных жидкостью.	46	12	8	4		34	10%	10%	10%
		9	<b>Раздел 9. Цилиндрические оболочки.</b> 9.1. Цилиндрическая оболочка, нагруженная по краям перерезывающей силой и изгибающим моментом. 9.2. Краевой эффект в области сопряжения оболочки с днищем, элементами силового набора.	36	10	8	2		26	10%	10%	10%
		10	<b>Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.</b> 10.1. Физическая картина поведения элементов конструкции при потере устойчивости. 10.2. Местная и общая потери устойчивости. Основные гипотезы и уравнения.	46	12	8	4		34	10%	10%	10%

		10.3. Устойчивость стержней, пластинок и оболочек. 10.4. Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии и внешнем давлении.									
	11	Раздел 11. Численные методы строительной механики. 11.1. Общая характеристика численных методов для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции. 11.2. Метод конечных элементов. Основные уравнения и гипотезы.	35	9	4	5		26	10%	10%	10%
4	7	<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>	180	51	34	17		129	50%	50%	50%
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>			324	102	68	34		222	100%	100%	100%

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Модель конструкции и ее расчетная схема	Занятие № 1. Расчетная схема, как вариант математической модели. Этапы составления расчетной схемы.	2
2	Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.	Занятие № 1. Уравнения равновесия, геометрические и физические уравнения. Общая система уравнений напряженно-деформированного состояния элемента конструкции. Занятие № 2. Балочная расчетная схема для определения напряжений в подкрепленной оболочке. Занятие № 3. Исследование влияния типа конечного элемента на напряжения и прогиб балки.	6
3	Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой	Занятие № 1-2. Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенной трубы из твердого ракетного топлива.	3
4	Раздел 5. Напряженно-деформированное состояние стержней.	Занятие № 1-2. Линейная устойчивость сжатых стержней с разной формой поперечного сечения.	3
5	Раздел 6. Тонкие пластины.	Занятие № 1-2. Исследование изгиба тонких пластин.	3
<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>			17
6	Раздел 7. Теория тонких оболочек.	Занятие № 1. Физические уравнения. Уравнения равновесия элемента тонкой оболочки. Внутренние погонные усилия и моменты в оболочке.	2
7	Раздел 8. Безмоментные оболочки.	Занятие № 1. Уравнения безмоментной теории оболочек. Занятие № 2. Исследование безмоментных напряжений в днищах, нагруженных давлением.	4
8	Раздел 9. Цилиндрические оболочки.	Занятие № 1. Исследование краевых эффектов в цилиндрических оболочках, нагруженных давлением.	2
9	Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.	Занятие № 1. Устойчивость цилиндрических оболочек, нагруженных осевой силой. Занятие № 2. Устойчивость цилиндрических оболочек, нагруженных внешним давлением.	4
10	Раздел 11. Численные методы строительной механики.	Занятие № 1. Инженерные пакеты расчета напряженно-деформированного состояния на основе метода конечных элементов. Занятие № 2-3. Программная среда ANSYS Multiphysics, для проведения моделирования на основе метода конечных элементов	5
<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>			17
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>			34



### 3.3. Лабораторный практикум программой дисциплины не предусмотрен

### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем часов СРС
1	Раздел 2. Модель конструкции и ее расчетная схема	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	25
		Подготовка к выполнению практической работы № 1. Исследование влияния типа конечного элемента на напряжение и погиб балки.	
		Оформление отчета по работе № 1.	
2	Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	25
		Подготовка к выполнению практической работы № 2. Балочная расчетная схема для определения напряжений в подкрепленной оболочке.	
		Оформление отчета по работе № 2.	
3	Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	21
		Подготовка к выполнению практической работы № 3. Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенной трубы из твердого ракетного топлива.	
		Оформление отчета по работе № 3.	
4	Раздел 5. Напряженно- деформированное состояние стержней.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	10
		Подготовка к выполнению практической работы № 4. Линейная устойчивость сжатых стержней.	
		Оформление отчета по работе № 4.	
5	Раздел 6. Тонкие пластины.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	12
		Подготовка к выполнению практической работы № 5. Исследование изгиба тонких пластин.	
		Оформление отчета по работе № 5.	
ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ			93
6	Раздел 7. Теория тонких оболочек.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	9
7	Раздел 8. Безмоментные оболочки.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	34
		Подготовка к выполнению практической работы № 6. Исследование безмоментных напряжений в днищах, нагруженных давлением.	
		Оформление отчета по работе № 6.	
8	Раздел 9. Цилиндрические оболочки.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	26
		Подготовка к выполнению практической работы № 7. Исследование краевых эффектов в цилиндрических оболочках, нагруженных давлением.	
		Оформление отчета по работе № 7.	
9	Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	34
		Подготовка к выполнению практической работы № 8. Устойчивость цилиндрической оболочки, сжатой осевой силой.	
		Подготовка к выполнению практической работы № 9. Устойчивость цилиндрической оболочки, нагруженной внешним давлением.	
		Оформление отчета по работе № 8. Оформление отчета по работе № 9.	
10	Раздел 11. Численные методы строительной механики.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	26
ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ			129
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ			222

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

##### ГРАФИК КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6			ПР1			ПР1			ПР1			ПР1			ПР1		
7						ПР1			ПР1			ПР1			ПР1		

Условные обозначения:

- ПР1 – защита задания одной практической работы.

**Текущая аттестация** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем (-ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- выполнение практических работ;
- защита результатов выполненных работ;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача отчетов по практическим работам.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- в 6-м семестре – защита задания двух практических работ;
- в 7-м семестре – защита задания одной практической работы.

**Промежуточный контроль** по результатам семестра по дисциплине проходит в форме:

- в 6-м и 7-м семестрах в виде экзамена, (включает в себя ответы на теоретические вопросы), при условии выполнения предусмотренных рабочей программой контрольных мероприятий: защиты выполненных заданий практических работ.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, методы контроля, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.**

### **5.1. Основная литература:**

1. Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. -Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз.
2. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций/ Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз.
3. Погорелов В.И. Прочность и устойчивость тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности "Ракетостроение". - Санкт-Петербург: БГТУ, 2005. 153с. 169 экз.

### **5.2. Дополнительная литература**

1. Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. .. Строительная механика ракет/Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 1984.-392с. 2 экз.
2. Сегерлинд Д. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979, 392с. 4 экз.
3. Образцов И.Ф., Савельев И.М. Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. - М. «Высшая школа», 1985, 392 с. 3 экз.
4. Санников В.А. Решение уравнений математической физики методом конечных элементов. Санкт-Петербург: БГТУ, 2011. -51с. 97 экз., ELR1693

### **5.3. Электронные ресурсы, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:**

- электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>
- электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» <http://www.biblio-online.ru>

### **5.4. Программное обеспечение.**

1. ПО общего назначения (текстовые редакторы типа MS WORD, графические редакторы типа MS EXCEL, средства презентационной графики MS PowerPoint)
2. Для проведения практических занятий используется конечно-элементный инженерный пакет ANSYS, установленный в компьютерном классе кафедры (а.334).

### **5.5. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса**

1. Применение средств мультимедиа в образовательном процессе: лекционные и практические занятия проводятся с использованием электронных презентаций.
2. Возможность консультирования обучающихся преподавателями в любое время и в любой точке пространства посредством сети Интернет: консультации, проверка домашних заданий по e-mail.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1 Лекционные занятия:**

- 1) комплект электронных презентаций/слайдов,
- 2) аудитории СК-21а, СК-21б, 101, 334, 344 оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, компьютер).

### **6.2. Практические работы:**

- 1) аудитория 334;
- 2) компьютерный класс СК-21б, компьютерные классы университета,
- 3) презентационная техника (проектор, экран, компьютер),
- 4) пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы типа MS WORD, графические редакторы типа MS EXCEL, средства презентационной графики MS PowerPoint), специализированное ПО:  
конечно-элементный инженерный пакет ANSYS ver. 17.

### **6.3. Прочее**

- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Строительная механика ЛА» является дисциплиной *базовой части* Блока 1 программы подготовки студентов по специальности 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 «А1» («Ракетостроение»).

Дисциплина нацелена на формирование:

**общекультурной компетенции:**

ОК-2 - способности использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач;

**обще профессиональных компетенций:**

ОПК-2 – понимание роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей);

**профессиональной компетенции:**

ПК-1 – способности работать в информационно-коммуникационном пространстве, проводить твердотельное компьютерное моделирование, прочностные, динамические и тепловые расчеты с использованием программных средств общего назначения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с анализом напряженно-деформированного состояния и несущей способности ракетных конструкций.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации, тьюторство.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль (выполнение практических работ), рубежный контроль (после половины семестра) студентов производится в следующих формах: в 6-ом семестре - выполнение и защита заданий двух практических работ, в 7-ом семестре - выполнение и защита задания одной практической работы и промежуточный контроль в форме экзамена после окончания 6-го и 7-го семестров, который включает ответы на теоретические вопросы.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (68 час), аудиторные (практические 34 час) занятия и 222 часа самостоятельной работы студента.

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

### Рекомендации по организации и технологиям обучения для преподавателя

#### I. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

**Информационные технологии:** использование электронного конспекта при подготовке к практическим занятиям.

**Работа в команде:** совместная работа студентов в группе при выполнении практических работ.

**Междисциплинарное обучение:** использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

**Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе следующих интерактивных форм проведения занятий:**

- разбор конкретных примеров;
- использование мультимедийных средств обучения.

Используются следующие виды организации учебного процесса для достижения знаний, умений, навыков и компетенций, предусмотренных образовательным процессом по дисциплине:

**Практическое занятие** - решение конкретных задач и расчеты на прочность и устойчивость конструкций, направленное на приобретение новых фактических знаний и теоретических умений.

**Самостоятельная работа** - изучение студентами теоретического материала, подготовка к лабораторным работам и практическим занятиям, оформление конспектов практических занятий, написание отчетов, работа в электронной образовательной среде для приобретения новых теоретических и фактических знаний, теоретических и практических умений.

**Консультация** - индивидуальное общение преподавателя со студентом, руководство его деятельностью с целью передачи опыта, углубления теоретических и фактических знаний, приобретенных студентом на практических занятиях и в результате самостоятельной работы.

#### II. Виды и содержание учебных занятий

##### Раздел 1. Введение.

Теоретические занятия (лекции) - 2 часов.

**Лекция 1.** Предмет и задачи курса. Обзор содержания дисциплины и рекомендуемая литература.

Классификация нагрузок.

##### Раздел 2. Модель конструкции и её расчётная схема.

Теоретические занятия (лекции) - 6 часов.

**Лекция 1.** Конструкция и ее модель. Модели геометрической формы, материала, нагрузки и способов закрепления.

**Лекция 2.** Расчетная схема, как вариант математической модели. Этапы составления расчетной схемы.

**Лекция 3.** Теории предельных напряженных состояний

Практические занятия - 4 часа.

**Занятие 1.** Расчетная схема, как вариант математической модели. Этапы составления расчетной схемы.

**Занятие 2.** Исследование влияния типа конечного элемента на напряжения и прогиб балки.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** изучить методы составления моделей и расчетных схем конструкций ЛА.

**Управление самостоятельной работой студента** - 0,5 часа.

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу, консультации по использованию норм прочности.

##### Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.

Теоретические занятия (лекции) - 12 часов.

**Лекция 1-2.** Гипотезы линейной теории упругости. Теория напряжений, принцип Сен-Венана.

**Лекция 3-4.** Уравнения равновесия, геометрические и физические уравнения. Общая система уравнений напряженно-деформированного состояния элемента конструкции.

**Лекция 5-6.** Температурные напряжения и деформации. Методы расчета температурных полей в типовых элементах конструкции ЛА.



Практические занятия - 4 часа.

**Занятие 1.** Уравнения равновесия, геометрические и физические уравнения. Общая система уравнений напряженно-деформированного состояния элемента конструкции.

**Занятие 2.** Балочная расчетная схема для определения напряжений в подкрепленной оболочке.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** изучить инженерные методы расчета конструкций ЛА.

**Управление самостоятельной работой студента - 0,2 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по материалам лекций.

**Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой.**

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

**Лекция 1.** Исходная система уравнений теории упругости для плоской деформации в цилиндрических координатах.

**Лекция 2.** Расчетная схема для определения напряжений и деформаций. Контактное давление на границе между зарядом и оболочкой корпуса.

Практические занятия - 3 часа.

**Занятие 1-2.** Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенной трубы из твердого ракетного топлива.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать контактное давление на границе между зарядом и оболочкой корпуса. **Управление самостоятельной работой студента – 0,8 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

**Раздел 5. Напряженно деформированное состояние стержней.**

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

**Лекция 1.** Растяжение и сжатие стержней. Гипотеза плоских сечений. Напряжения в наклонных сечениях.

**Лекция 2.** Напряжения и деформации при изгибе. Жесткость стержней. Косой и сложный изгиб. Уравнение нейтральной оси. Касательные напряжения.

Практические занятия - 3 часа.

**Занятие 1-2.** Линейная устойчивость сжатых стержней с разной формой поперечного сечения. Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать устойчивость сжатых стержней с разной формой поперечного сечения.

Используемое оборудование: персональный компьютер.

**Управление самостоятельной работой студента -0,5 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

**Раздел 6. Тонкие пластинки.**

Теоретические занятия (лекции) - 6 часов.

**Лекция 1.** Классификация пластин. Гипотезы Кирхгоффа в теории тонких пластин.

**Лекция 2.** Уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки.

**Лекция 3.** Круглая и прямоугольная пластинка, нагруженная внешним давлением.

Практические занятия -3 часа.

**Занятие 1-2.** Исследование изгиба тонких пластин. Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать вид закрепления на изгиб тонкой пластины.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,5 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

**Раздел 7. Уравнения теории тонких оболочек.**

Теоретические занятия (лекции) - 3 часа.

**Лекция 1-2.** Гипотезы теории тонких оболочек Деформация срединной поверхности и произвольного слоя оболочки. Физические уравнения. Внутренние погонные усилия и моменты в оболочке. Уравнения равновесия элемента тонкой оболочки.

Практические занятия - 2 часа.

**Занятие 1.** Физические уравнения. Внутренние погонные усилия и моменты в оболочке.

Уравнения равновесия элемента тонкой оболочки.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать связь между внутренними усилиями и внешними нагрузками. **Управление самостоятельной работой студента – 0,4 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

#### **Раздел 8. Безмоментные оболочки.**

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

**Лекция 1.** Уравнения безмоментной теории оболочек,

**Лекция 2.** Напряжения и перемещения в оболочках, нагруженных внутренним давлением и заполненных жидкостью.

Практические занятия - 4 часа.

**Занятие 1.** Уравнения безмоментной теории оболочек.

**Занятие 2.** Исследование безмоментных напряжений в днищах, нагруженных давлением.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать безмоментные напряжения в днищах.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,4 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

#### **Раздел 9. Изгиб цилиндрических оболочек.**

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

**Лекция 1.** Цилиндрическая оболочка, нагруженная по краям перерезывающей силой и изгибающим моментом.

**Лекция 2.** Краевой эффект в области сопряжения оболочки с днищем и с другими элементами силового набора.

Практические занятия - 2 часа.

**Занятие 1.** Краевой эффект в области сопряжения оболочки с днищем.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать краевой эффект в области сопряжения оболочки с днищем.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,5 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

#### **Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.**

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

**Лекция 1.** Физическая картина поведения стержней, пластин и оболочек при потере устойчивости. Местная и общая потеря устойчивости. Устойчивость стержней и пластинок.

**Лекция 2.** Основные гипотезы и уравнения теории пологих оболочек. Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии и внешнем давлении.

Практические занятия - 4 часа.

**Занятие 1.** Устойчивость цилиндрической оболочки, сжатой осевой силой.

**Занятие 2.** Устойчивость цилиндрической оболочки, нагруженной внешним давлением.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** исследовать устойчивость цилиндрической оболочки.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,4 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

#### **Раздел 11. Численные методы строительной механики.**

Теоретические занятия (лекции) - 2 часа.

**Лекция 1.** Общая характеристика численных методов для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции. Метод конечных элементов для расчета цилиндрической оболочки.

Практические занятия - 5 часов.

**Занятие 1-2.** Инженерные пакеты твердотельного моделирования и проектирования силовых конструкций на основе метода конечных элементов.

**Занятие 3.** Программная среда ANSYS Multiphysics для проведения практических занятий.

Форма выполнения: индивидуальная

**Цель работы:** изучить основы твердотельного моделирования и проектирования силовых конструкций на основе метода конечных элементов.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,4 часа.**

Реализуемые формы управления самостоятельной работой студента: консультации по выполнению практической работы и лекционному материалу.

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 324 часа, из них 102 часа аудиторных занятий и 222 часа, 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 порядке проведения промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в п.4 Рабочей программы и в Приложении 5 к Рабочей программе.

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
<b>Раздел 2. Модель конструкции и ее расчетная схема</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	<b>Лекция 1.</b> Конструкция и ее модель. Модели геометрической формы, материала, нагрузки и способов закрепления. <b>Лекция 2.</b> Расчетная схема, как вариант математической модели. Этапы составления расчетной схемы. <b>Лекция 3.</b> Теории предельных напряженных состояний	13	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 1.
Подготовка к выполнению практической работы № 1.	Исследование влияния типа конечного элемента на напряжение и погиб балки.	12	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 6 по 12.
Оформление отчета по работе № 1.			
Итого по разделу 2		25	
<b>Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	<b>Лекция 1-2.</b> Гипотезы линейной теории упругости. Теория напряжений, принцип Сен-Венана. <b>Лекция 3-4.</b> Уравнения равновесия, геометрические и физические уравнения. Общая система уравнений напряженно-деформированного состояния элемента конструкции. <b>Лекция 5-6.</b> Температурные напряжения и деформации. Методы расчета температурных полей в типовых элементах конструкции ЛА.	15	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 2.
Подготовка к выполнению	Балочная расчетная схема для определения напряжений в	10	Погорелов В.И. Строительная механика летательных

практической работы № 2.	подкрепленной оболочке.		аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 13 по 22.
Оформление отчета по работе № 2.			
Итого по разделу 3		25	
<b>Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Исходная система уравнений теории упругости для плоской деформации в цилиндрических координатах. Лекция 2. Расчетная схема для определения напряжений и деформаций. Контактное давление на границе между зарядом и оболочкой корпуса.	11	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 4.
Подготовка к выполнению практической работы № 3.	Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенной трубы из твердого ракетного топлива.	10	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 22 по 30.
Оформление отчета по работе № 3.			
Итого по разделу 4		21	
<b>Раздел 5. Напряженно-деформированное состояние стержней.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Растяжение и сжатие стержней. Гипотеза плоских сечений. Напряжения в наклонных сечениях. Лекция 2. Напряжения и деформации при изгибе. Жесткость стержней. Косой и сложный изгиб. Уравнение нейтральной оси. Касательные напряжения.	6	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 3.
Подготовка к выполнению практической работы № 4.	Линейная устойчивость сжатых стержней.	4	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 61 по 70.
Оформление отчета по работе № 4.			
Итого по разделу 5		10	
<b>Раздел 6. Тонкие пластины.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Классификация пластин. Гипотезы Кирхгофа в теории тонких пластин. Лекция 2. Уравнение изогнутой срединной поверхности Лекция 3. Круглая и прямоугольная пластинка, нагруженная внешним давлением.	8	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 5.

Подготовка к выполнению практической работы № 5.	Исследование изгиба тонких пластин.	4	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 30 по 38.
Оформление отчета по работе № 5.			
Итого по разделу 6		12	
<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>		<b>93 часа</b>	
<b>Раздел 7. Теория тонких оболочек.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1-2. Гипотезы теории тонких оболочек Деформация срединной поверхности и произвольного слоя оболочки. Физические уравнения. Внутренние погонные усилия и моменты в оболочке. Уравнения равновесия элемента тонкой оболочки.	9	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 6.
Итого по разделу 7		9	
<b>Раздел 8. Безмоментные оболочки.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Уравнения безмоментной теории оболочек, Лекция 2. Напряжения и перемещения в оболочках, нагруженных внутренним давлением и заполненных жидкостью.	18	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 7.
Подготовка к выполнению практической работы № 6.	Исследование безмоментных напряжений в днищах, нагруженных давлением.	16	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 38 по 51.
Оформление отчета по работе № 6.			
Итого по разделу 8		34	
<b>Раздел 9. Цилиндрические оболочки.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Цилиндрическая оболочка, нагруженная по краям перерезывающей силой и изгибающим моментом. Лекция 2. Краевой эффект в области сопряжения оболочки с днищем и с другими элементами силового набора.	14	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Главы 8, 9.
Подготовка к выполнению практической работы № 7.	Исследование краевых эффектов в цилиндрических оболочках, нагруженных давлением.	12	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. -

Оформление отчета по работе № 7.			Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 51 по 61.
Итого по разделу 9		26	
<b>Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела.	Лекция 1. Физическая картина поведения стержней, пластин и оболочек при потере устойчивости. Местная и общая потеря устойчивости. Устойчивость стержней и пластинок. Лекция 2. Основные гипотезы и уравнения теории пологих оболочек. Устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии и внешнем давлении.	14	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Главы 4, 5, 8.
Подготовка к выполнению практической работы № 8.	Устойчивость цилиндрической оболочки, сжатой осевой силой.	20	Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз. Страницы с 70 по 89.
Подготовка к выполнению практической работы № 9.	Устойчивость цилиндрической оболочки, нагруженной внешним давлением.		
Оформление отчета по работе № 8.			
Оформление отчета по работе № 9.			
Итого по разделу 10		34	
<b>Раздел 11. Численные методы строительной механики.</b>			
Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела	Лекция 1. Общая характеристика численных методов для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции. Метод конечных элементов для расчета цилиндрической оболочки.	26	Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз. Глава 14.
Итого по разделу 11		26	
<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>		<b>129 часов</b>	
<b>ИТОГО ПО КУРСУ</b>		<b>222 часа</b>	



### Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.</p> <p>Уделить внимание следующим понятиям: <u>конструкция и ее модель; расчетная схема, как вариант математической модели; система уравнений теории упругости; предельное напряженное состояние; методы расчета напряженно-деформированного состояния конструкции и др.</u></p>
Практические занятия	<p>При подготовке к практическому занятию рекомендуется повторить теоретические сведения по теме занятия в соответствии с указаниями в таблице Приложения 3 к настоящей рабочей программе. После проведения занятия с целью подготовки к экзамену, а также наилучшего усвоения изученного материала ответить на контрольные вопросы, представленные в конце каждого практического занятия.</p> <p><u>В случаях затруднений обращаться к преподавателю на очередном практическом занятии или на консультации.</u></p>
Подготовка к экзамену,	<p>Перечень теоретических вопросов к экзамену предоставляется преподавателем.</p> <p>При подготовке ответов на теоретические вопросы рекомендуется помимо текстов лекций использовать источники основной и дополнительной литературы.</p> <p><u>Особое внимание следует уделить подготовке практических примеров к теоретическим экзаменационным вопросам.</u></p>

### ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- список вопросов для составления экзаменационных билетов и примеры формирования экзаменационных билетов приведены в УМК по дисциплине.
- список вопросов, обсуждаемых на практических занятиях по дисциплине по результатам выполнения заданий, по ответам на которые оцениваются знания по темам приведены в УМК по дисциплине.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Номера разделов	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				Самостоятельная работа студентов	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
					ВСЕГО	Лекции	Аудиторный практикум (семинар)	Лабораторный практикум		ОК-2	ОПК-2	ПК-1	
3	6	1	Раздел 1. Введение.	2	2	2				-	5%	5%	Собеседование
		2	Раздел 2. Модель конструкции и ее расчетная схема.	36	11	9	2		25	10%	5%	5%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		3	Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.	40	15	9	6		25	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		4	Раздел 4. Заряд твердого топлива, скрепленный с оболочкой.	28	7	4	3		21	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		5	Раздел 5. Напряженно-деформированное состояние стержней.	17	7	4	3		10	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.

		6	Раздел 6. Тонкие пластины.	21	9	6	3		12	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
3	6		<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>	144	51	34	17		93	50%	50%	50%	
4	7	7	Раздел 7. Теория тонких оболочек.	17	8	6	2		9	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		8	Раздел 8. Безмоментные оболочки.	46	12	8	4		34	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		9	Раздел 9. Цилиндрические оболочки.	36	10	8	2		26	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		10	Раздел 10. Устойчивость элементов конструкций.	46	12	8	4		34	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
		11	Раздел 11. Численные методы строительной механики.	35	9	4	5		26	10%	10%	10%	1. Вопросы по заданию практической работы. 2. Вопросы для экзамена.
4	7		<b>ИТОГО ПО СЕМЕСТРУ</b>	180	51	34	17		129	50%	50%	50%	
			<b>ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	324	102	68	34		222	100%	100%	100%	

## Критерии оценивания

### Аудиторный практикум

#### Отчет по практической работе

Отчет по практической работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Защита ГР предусматривает обсуждение порядка решения предусмотренных ее тематикой задач, включая проверку усвоения студентом соответствующих сведений из теории.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, работа и отчет считается принятыми.

**Основаниями для дополнительной доработки отчета являются:**

- небрежное выполнение;
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках).

**Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:**

- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов.

*Примерный перечень вопросов по одному из заданий, выполняемому на практическом занятии приведен ниже. Вопросы выдаются студенту выборочно. Практикуется как индивидуальная, так и групповая сдача работы, реализуемая в виде «круглого стола».*

#### Практическая работа №1

1. Почему теоретическое решение отличается от значений, полученных численным методом.
2. Сколько степеней свободы имеет балочный элемент.
3. Сколько степеней свободы имеет оболочечный элемент.
4. Сколько степеней свободы имеет твердотельный элемент.
5. Какой элемент имеет наибольшую погрешность решения.

И т.д. См. Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. - Санкт-Петербург: БГТУ. 2014. -118с. 140 экз.

#### Рубежная аттестация

Рубежная аттестация студентов производится по итогам половины семестра. Результат рубежной аттестации определяется как оценка степени выполнения графика контрольных мероприятий (раздел 4 рабочей программы) на дату проведения аттестации в следующих формах:

- в 6-м семестре - защита задания двух практических занятий;
- в 7-м семестре - защита задания одного практического занятия.

#### Промежуточный контроль

В 6-м семестре осуществляется в форме экзамена по билетам. Каждый билет содержит два вопроса из перечня.

## Экзамен

#### Критерии оценивания:

- правильные полные и четкие ответы на все вопросы преподавателя, при технически грамотном представлении - «**отлично**»;
- правильные, но недостаточно полные и четкие ответы на поставленные преподавателем вопросы, при грамотном представлении материала - «**хорошо**»;
- правильные ответы на большую часть поставленных вопросов при недостаточном полном их освещении при достаточном грамотном оформлении материала - «**удовлетворительно**»;

- неправильные и неполные ответы на все поставленные преподавателем вопросы при технически неграмотном изложении - «неудовлетворительно».

**Минимальные требования, предъявляемые к студенту для положительной оценки знаний на экзамене.**

Оценка "Отлично" выставляется студенту, прочно усвоившему программный материал, исчерпывающе, грамотно и логически стройно его излагающему. При этом студент не затрудняется с ответом при видоизменении вопроса, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с литературой, правильно обосновывает принятые решения.

Оценка "Хорошо" выставляется студенту, знающему программный материал, грамотно и по существу излагающему его, который не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка "Удовлетворительно" выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении программного материала.

Оценка "Неудовлетворительно" выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями пытается ответить на вопросы.

**Перечень вопросов, выносимых на экзамен в 6-м семестре.**

1. Основные понятия и определения. Предмет и задачи курса "Строительная механика" Классификация моделей конструкций.
2. Расчетная схема. Определение. Примеры. Порядок построения расчетной схемы. Выбор геометрической формы при составлении расчетной схемы.
3. Выбор способа закрепления при составлении расчетной схемы. Реакции. Граничные условия Моделирование нагрузок при составлении расчетной схемы.
4. Модели материалов при составлении расчетной схемы. Критерии для выбора материала при составлении расчетной схемы.
5. Основные гипотезы линейной теории упругости.
6. Принцип Сен-Венана и его применение при составлении расчетной схемы конструкции, Составляющие вектора напряжений в точке. Тензор напряжений.
7. Расчет напряжений на наклонной площадке. Условия на поверхности тела и граничные условия. Главные напряжения и их свойства. Главные и октаэдрические площадки.
8. Уравнения равновесия теории упругости. Закон парности касательных напряжений. Относительная деформация произвольного элемента.
9. Определению деформации сдвига между двумя отрезками.
10. Геометрические уравнения линейной ТУ
11. Объемная деформация. Условия сплошности Сен-Венана.
12. Физические уравнения линейной теории упругости.
13. Классификация брусьев. Гипотезы Эйлера-Бернулли, составляющие осевого перемещения бруса. Геометрические уравнения теории брусьев.
14. Уравнения равновесия бруса. Физические уравнения теории брусьев.
15. Внутренние погонные усилия и моменты в бруссе. Деформации, выраженные через усилия и моменты в бруссе. Напряжения, выраженные через усилия и моменты в бруссе. Уравнения равновесия бруса.
16. Поворот осей координат и главные оси жесткости. Растяжение и сжатие стержней. Примеры.
17. Стержень, растягиваемый постоянной погонной нагрузкой.
18. Лопасть крыла вертолета Исходные уравнения для расчета изгиба балок. Граничные условия.
19. Напряжения в однослойной и многослойной балке.
20. Балочная схема для расчета изгиба подкрепленной оболочки. Сосредоточенная нагрузка в балочной схеме крыла.
21. Расчет жесткости сечений при изгибе балок. Определение главных осей жесткости при изгибе балки.
22. Расчетная схема для определения напряжений и деформации в толстостенной трубе. Напряжения в заряде и корпусе при внутреннем давлении.
23. Напряжения в заряде и корпусе при отличии температуры конструкции от равновесной Заряд, соединенный по наружной поверхности с деформируемым корпусом двигателя.
24. Температурные напряжения в заряде твердого топлива, скрепленного с оболочкой.

25. Классификация пластин. Гипотезы Кирхгофа в теории тонких пластин. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности тонкой пластинки.
26. Погонные усилия и моменты в тонкой пластинке.
27. Напряжения в пластинке, выраженные через погонные моменты.
28. Эллиптическая пластинка, зашлепленная по контуру.
29. Круглая пластинка, зашлепленная по контуру.
30. Круглая пластинка, с шарнирным закреплением контура.

#### **Перечень вопросов, выносимых на экзамен в 7-м семестре.**

1. Классификация оболочек. Гипотезы Лава - Кирхгофа. Сравнение гипотез.
2. Деформация срединной поверхности.
3. Деформация произвольного слоя оболочки. Перемещения в произвольном слое.
4. Перемещения и углы поворота
5. Закон Гука для ортотропного материала.
6. Внутренние усилия и моменты в оболочке.
7. Физические уравнения, записанные через внутренние усилия и моменты.
8. Внутренние усилия и моменты в изотропной однослойной оболочке.
9. Внутренние усилия и моменты в ортотропной однослойной оболочке.
10. Внутренние усилия и моменты в вафельной оболочке.
11. Деформации, выраженные через усилия и моменты. для изотропной оболочки.
12. Напряжения, выраженные через усилия и моменты, для изотропной оболочки.
13. Уравнения равновесия малого элемента оболочки для сил.
14. Уравнения равновесия малого элемента оболочки для моментов.
15. Условия существования безмоментного напряженного состояния.
16. Уравнения равновесия безмоментной оболочки.
17. Геометрические уравнения безмоментных оболочек.
18. Физические уравнения однослойной безмоментной оболочки.
19. Уравнения безмоментных оболочек при симметричной нагрузке.
20. Сфера, нагруженная постоянным давлением.
21. Конус, нагруженный постоянным давлением.
22. Цилиндр, нагруженный постоянным давлением.
23. Эллиптическое днище, нагруженное постоянным давлением.
24. Торосферическое днище, нагруженное постоянным давлением.
25. Торовый сосуд, нагруженный внутренним давлением.
26. Расчетная схема и напряжения в баке, подвешенном на стержнях.
27. Уравнения равновесия верхней части бака, подвешенного на стержнях.
28. Уравнения равновесия нижней части бака, подвешенного на стержнях.
29. Полусферическое днище, заполненное жидкостью.
30. Эллиптическое днище, заполненное жидкостью.
31. Коническое днище, заполненное жидкостью.
32. Торосферическое днище, заполненное жидкостью.
33. Уравнение краевого эффекта в цилиндрической оболочке.
34. Исследование частного решения уравнения краевого эффекта в цилиндрической оболочке.
35. Общее решение уравнения краевого эффекта в цилиндрической оболочке.
36. Краевые напряжения в области эллиптического днища.
37. Краевой эффект в области жесткой заделки.
38. Краевой эффект в области соединения с фланцем.
39. Краевой эффект в области плоского днища.
40. Основные гипотезы пологих оболочек.
41. Уравнения пологих оболочек.
42. Область использования теории пологих оболочек и методы решения.
43. Диаграмма потери устойчивости оболочкой, влияние геометрических несовершенств.
44. Разрешающее уравнение для исследования устойчивости оболочек при безмоментном докритическом состоянии.
45. Устойчивость оболочки средней длины при осевом сжатии.
46. Устойчивость короткой оболочки при осевом сжатии.
47. Устойчивость длинной, оболочки при осевом сжатии.
48. Устойчивость оболочки, нагруженной внешним давлением.



### СПРАВКА

о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы  
(справка является неотъемлемой частью УМК дисциплины)

1. Наименование дисциплины: **Строительная механика ЛА.**

2. Кафедра: **А1 Ракетостроения.**

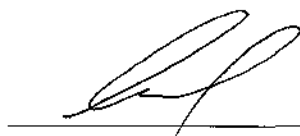
3. Перечень основной учебной литературы:

1. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика". - Санкт-Петербург. БХВ - Петербург, 2007. 528с. 196 экз.
2. Погорелов В.И. Прочность и устойчивость тонкостенных конструкций. Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности "Ракетостроение". - Санкт-Петербург: БГТУ, 2005. 153с. 169 экз.
3. Погорелов В.И. Строительная механика летательных аппаратов. Лабораторный практикум в ANSYS. -Санкт-Петербург: БГТУ, 2014. 118с. 140 экз.

4. Перечень дополнительной литературы:

1. Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И .. Строительная механика ракет/Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 1984.-392с. 2 экз.
2. Сегерлинд Д. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир, 1979, 392с. 4 экз.
3. Образцов И.Ф., Савельев И.М. Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. - М. «Высшая школа», 1985, 392 с. 3 экз.
4. Санников В.А. Решение уравнений математической физики методом конечных элементов. Санкт-Петербург: БГТУ, 2011. -51с. 97 экз., ELR1693

Директор библиотеки



/ Н.В. Сесина/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.