

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 07 » мая 20 24 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Инженерный анализ конструкций БПЛА  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 288 (8)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Проектирование, производство и эксплуатация беспилотных  
летательных аппаратов из композиционных материалов  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины: формирование комплекса знаний, умений и навыков в области решения задач инженерного анализа конструкций беспилотных летательных аппаратов, предназначенного для определения несущей способности конструкций выдерживать нагрузки и бесперебойно функционировать при реальных условиях эксплуатации посредством численного моделирования и методов неразрушающего контроля.

Задачи учебной дисциплины:

- формирования знаний об основах математического моделирования композитных конструкций с помощью современных CAE-систем;
- формирования знаний об основах экспериментальных исследований композитных конструкций с помощью методов неразрушающего контроля;
- формирование умения составлять задачи математического моделирования композиционных конструкций беспилотных летательных аппаратов, решать их с применением современной вычислительной техники и интерпретировать полученные результаты;
- формирование умения планировать экспериментальное исследование изделий беспилотных летательных аппаратов с использованием методов неразрушающего контроля и интерпретировать полученные результаты;
- формирование навыков применения методического аппарата по решению инженерных задач прочности и теплообмена конструкций из композиционных материалов посредством численного моделирования;
- формирование навыков экспериментальной и численной оценки способности конструкций выдерживать нагрузки и бесперебойно функционировать при реальных условиях эксплуатации.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Объекты учебной дисциплины

- современные цифровые инструменты и технологии для инженерного анализа конструкций из композиционных материалов;
- конечно-элементный анализ;
- современные методы и оборудование для неразрушающего контроля и дефектоскопии конструкций из композиционных материалов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.3	ИД-1ПК-1.3	Знает особенности экспериментального изучения закономерностей накопления повреждений современных материалов, характеристики материалов и экспериментальные методы их определения	Знает методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации; методы анализа и обобщения отечественного и международного опыта в соответствующей области исследования	Зачет
ПК-1.3	ИД-2ПК-1.3	Умеет проводить анализ полученных экспериментальных данных о поврежденности конструкции	Умеет оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; применять методы анализа научнотехнической информации; применять методы проведения экспериментов	Индивидуальное задание
ПК-1.3	ИД-3ПК-1.3	Владеет навыками идентификации параметров на основе полученных данных о состоянии конструкции	Владеет навыками сбора, обработки, анализа и обобщения передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований; сбора обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний; проведения экспериментов в соответствии с установленными полномочиями; проведения наблюдений и измерений, составление их описаний и формулировка выводов	Отчёт по практическому занятию
ПК-3.1	ИД-1ПК-3.1	Знает способы отображения основных законов физики при описании процессов эксплуатации деталей и изделий для составления расчетных моделей в прикладных пакетах инженерного анализа	Знает основы конструкции БПЛА и перечень стандартизированных узлов и агрегатов; основные этапы проектирования БПЛА и перечень работ, выполняемых на каждом из этапов; конструктивные элементы БПЛА выполненные из ПКМ; взаимозаменяемость узлов	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			и агрегатов; технические требования, предъявляемые к разрабатываемым конструкциям; основы эксплуатации беспилотной авиационной техники; методы и средства автоматизации проектирования БПЛА, содержащих стандартизированные узлы и агрегаты; технологии информационной поддержки жизненного цикла изделия; программное обеспечение для моделирования и симуляции полета БПЛА; требования охраны труда и производственной санитарии при сборке и эксплуатации БПЛА.	
ПК-3.1	ИД-2ПК-3.1	Умеет создавать линейные и нелинейные расчетные модели конструкций из композиционных материалов с использованием прикладных программных средств для исследования их напряженно-деформированного и теплового состояния	Умеет применять методический аппарат при проектировании БПЛА, построении информационных моделей БПЛА; определять последовательность операций при сборке БПЛА; строить общую схему компоновки и осуществлять подбор стандартизированных узлов и агрегатов для сборки БПЛА, обладающего заданными характеристиками и возможностями; применять рекомендуемые справочные материалы при разработке и оформлении ТД; оформлять сопроводительную и проектную документацию в процессе проектирования и разработке БПЛА; применять методики	Индивидуальное задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			подбора компонентов БПЛА; пользоваться инструментарием САПР, стандартными пакетами прикладных программ для построения информационных моделей работы БПЛА и симуляции полета.	
ПК-3.1	ИД-3ПК-3.1	Владеет навыками проведения и анализа результатов конечно-элементного моделирования статических и динамических процессов эксплуатации деталей и изделий с использованием прикладных программных средств в ходе их конструктивной проработки	Владеет навыками современных методов проектирования БПЛА согласно заданным техническим характеристикам и технологическим возможностям; подготовки исходных данных и проведения анализа существующих технологий сборки конструкций БПЛА разных типов; разработки схемы расположения основных компонентов БПЛА, взаимная увязка компонентов внутри БПЛА; корректировки ТД по результатам информационного и натурного моделирования БПЛА, проведения НИОКР; разработки технологического состава БПЛА и последовательности сборки.	Курсовой проект

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	8
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	116	72	44
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	58	36	22
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	54	34	20
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	136	72	64
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет	9		9
Курсовой проект (КП)	7	7	
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	288	180	108

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
7-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные положения метода конечных элементов	18	0	16	34
<p>Тема 1. Роль вычислительных методов при решении задач инженерного анализа конструкций БПЛА. Современные системы инженерного анализа, их назначение и виды решаемых задач. Основные этапы инженерного анализа конструкции численными методами. Построение физической модели. Построение математической модели. Метод исследования математической модели и анализ полученных результатов.</p> <p>Тема 2. Идея и область применения метода конечных элементов. Основные понятия. Основные этапы практической реализации. Конечные элементы. Построение сетки конечных элементов. Граничные условия. Точность результатов.</p> <p>Тема 3. Типы конечных элементов. Линейный упругий элемент. Матрица жесткости. Система упругих элементов. Матрица жесткости системы элементов.</p> <p>Тема 4. Стержневой и балочный элементы. Матрица жесткости стержневого и балочного элементов. Учет распределенной нагрузки. Произвольное расположение элементов на плоскости и в пространстве.</p> <p>Тема 5. Конечные элементы для плоских задач. Функции формы конечных элементов и матрица жесткости. Линейный плоский треугольный элемент. Квадратичный треугольный элемент. Линейный четырехугольный элемент. Квадратичный четырехугольный элемент. Преобразование нагрузки. Пластины и оболочки.</p>				
Практическое применение комплекса ANSYS при решении задач инженерного анализа	18	0	18	38
<p>Тема 6. Общее описание программного комплекса ANSYS. Составные части комплекса и их назначение. Предварительная подготовка данных. Основные стадии решения задач. Препроцессорная подготовка. Приложение нагрузок и получение решения. Постпроцессорная обработка.</p> <p>Тема 7. Методика работы с ANSYS при решении статических прочностных задач. Основные типы и имена элементов. Основные команды пакетного и интерактивного режимов. Постановка задачи. Построение модели. Построение сетки. Приложение нагрузок и получение решения. Обработка, печать и сохранение результатов.</p> <p>Тема 8. Стержневые и балочные конструкции.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Консольная балка. Плоский изгиб балки. Определение реакций опор и усилий в стержнях плоской фермы. Расчет составных рам (система двух тел). Определение реакций опор и внутренних связей составной конструкции (система трех тел). Кручение стержней. Кривые стержни. Начальные деформации. Температурные напряжения. Тема 9. Решение плоских и пространственных задач. Статический анализ уголкового кронштейна. Толстостенный цилиндр под внутренним давлением. Статический анализ изогнутого стержня. Тепловой анализ. Тема 10. Анализ элементов конструкции БПЛА из КМ Слоистые композиты. Критерии прочности. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции из композиционного материала. Тепловой анализ конструкции из композиционного материала.				
ИТОГО по 7-му семестру	36	0	34	72
8-й семестр				
Основные положения применения методов неразрушающего контроля	8	0	6	22
Тема 11. Принципы и классификация методов неразрушающего контроля. Тема 12. Выявление и характеристика дефектов конструкций БПЛА из КМ. Тема 13. Нормативная документация, применяемая при неразрушающем контроле конструкций из КМ.				
Практическое применение неразрушающего контроля при анализе конструкций из КМ	14	0	14	42
Тема 14. Основные задачи и методы визуального и измерительного контроля конструкций БПЛА из КМ. Тема 15. Контроль геометрии методами трехмерного сканирования. Тема 16. Неразрушающий контроль и дефектоскопия методами шерографии. Тема 17. Неразрушающий контроль и дефектоскопия методами толщинометрии. Тема 18. Неразрушающий контроль и дефектоскопия методами термографии. Тема 19. Основные задачи и методы ультразвуковой дефектоскопии.				
ИТОГО по 8-му семестру	22	0	20	64
ИТОГО по дисциплине	58	0	54	136



## Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Знакомство с программным комплексом ANSYS.
2	Построение геометрических моделей. Восходящее и нисходящее проектирование.
3	Построение конечно-элементных моделей объемных и листовых деталей и сборок.
4	Задание физических свойств конечно-элементных моделей, начальных и граничных условий.
5	Определение реакций опор и усилий в стержнях плоской формы.
6	Решение примеров плоских задач анализа напряженно-деформированного состояния с различными схемами нагружения.
7	Решение задачи статического анализа напряженно-деформированного состояния элемента конструкции беспилотного летательного аппарата на основе данных о его эксплуатации.
8	Линейный статический анализ напряженно-деформированного состояния элемента конструкции беспилотного летательного аппарата из композиционного материала.
9	Оценка прочности элемента конструкции беспилотного летательного аппарата из композиционного материала на основе данных о его эксплуатации.
10	Классификация методов диагностики и дефектов в конструкциях из композиционных материалов.
11	Международная и национальная нормативная документация, применяемая при неразрушающем контроле конструкций из ПКМ.
12	Визуальный и измерительный метод неразрушающего контроля.
13	Контроль геометрии методами трехмерного сканирования.
14	Неразрушающий контроль изделий из ПКМ методом шерографии.
15	Толщинометрия конструкций из ПКМ.
16	Неразрушающий контроль изделий из ПКМ активным тепловым методом.
17	Неразрушающий контроль изделий из ПКМ ультразвуковым теневым методом.
18	Неразрушающий контроль изделий из ПКМ эхо-импульсным методом.

## Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Анализ напряженно-деформированного состояния корпусных элементов беспилотного летательного аппарата из композиционного материала при различных схемах нагружения.
2	Анализ напряженно-деформированного состояния воздушного винта беспилотного летательного аппарата из композиционного материала при различных режимах эксплуатации.
3	Анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций беспилотного летательного аппарата из композиционного материала при различных схемах нагружения.

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
4	Анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкции беспилотного летательного аппарата из стеклосотопласта при различных схемах нагружения.
5	Анализ напряженно-деформированного состояния рамы беспилотного летательного аппарата коптерного типа из композиционного материала при различных режимах эксплуатации.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS : учебное пособие. Пермь : ПГТУ, 2008. 350 с.	22
2	Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В., Филинов В. Н. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 2003. 656 с.	7
3	Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / Клюев В. В., Соснин Ф. Р., Ковалев А. В., Филинов В. Н. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 2005. 656 с.	8
4	Шингель Л. П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач прочностного анализа с использованием пакета программ ANSYS 12.1 : учебно-методическое пособие. Пермь : ПНИПУ, 2015. 52 с. 3,5 усл. печ. л.	20
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах : [совместная работа в системах CAD и ANSYS]. Москва : КомпьютерПресс, 2002. 223 с.	2
2	Басов К. А. ANSYS для конструкторов. Москва : ДМК Пресс, 2009. 247 с.	5
3	Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство : [учебное пособие]. Стер. Москва : Либроком, 2015. 269 с. 17 печ. л.	5
4	Самогин Ю. Н., Хроматов В. Е., Чирков В. П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов : учебное пособие для вузов. Москва : Физматлит, 2012. 200 с. 12,5 усл. печ. л.	3
5	Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров : справочное пособие. Москва : Машиностроение, 2004. 511 с.	41
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя / К. А. Басов. - Москва: ДМК Пресс, 2005.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2514">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2514</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах: [совместная работа в системах CAD и ANSYS] / К. А. Басов. - Москва: КомпьютерПресс, 2002	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2371">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2371</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Физические основы методов неразрушающего контроля качества изделий. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2012	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan28333">http://elib.pstu.ru/Record/lan28333</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2374">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2374</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Шингель Л. П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач с использованием пакета программ ANSYS : учебно-методическое пособие / Л. П. Шингель. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2934">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2934</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Котов А. Г. САПР изделий из композиционных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения в среде ANSYS: учебное пособие / А. Г. Котов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2826</a>	локальная сеть; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

Вид ПО	Наименование ПО
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	SciLab ( лиц. CeCILL <a href="https://www.scilab.org/">https://www.scilab.org/</a> )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	FiberSim (академическая лиц. дог. ITS-17/294 каф.)МКМК , АКФ
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	NX 11 ( акад. лиц. дог. P/43469-04) каф.МКМК, АКФ
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	КОМПАС-3D V18 Уч.вер.(АКФ, МКМК, лиц.Иж-17-00089)

#### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Springer Nature e-books	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="https://elib.pstu.ru/">https://elib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	локальная сеть
База данных компании EBSCO	<a href="https://www.ebsco.com/">https://www.ebsco.com/</a>

#### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовой проект	компьютеры	25
Лекция	компьютеры	1
Лекция	проектор	1
Практическое занятие	3D-сканер	1
Практическое занятие	компьютеры	10

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе