

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

« 16 » февраля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Инженерный анализ изделий в системах автоматизированного проектирования
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
(код и наименование направления)

Направленность: Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (общий профиль, СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - изучение методов решения задач инженерного анализа изделий машиностроения посредством численного моделирования процессов их функционирования на базе геометрических 3D моделей в конечно-элементном представлении с использованием прикладных программных пакетов (CAE-систем и модулей САПР).

Задачи учебной дисциплины:

- изучение теоретических основ численных методов решения инженерных задач;
- формирование умения планировать виртуальный эксперимент изделий машиностроения, выполнять его с использованием прикладных программных средств и интерпретировать полученные результаты;
- формирование умений составлять математические расчетные модели изделий машиностроительного производства;
- формирование навыков работы с CAE-системами для решения инженерных задач прочности, теплообмена и динамики потоков.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- методы планирования и проведения виртуального эксперимента;
- методы составления расчетных моделей изделий машиностроительного производства;
- программные продукты, осуществляющие инженерные расчеты

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
ОПК-1	ИД-1ОПК-1	Знает способы отображения основных законов физики при описании процессов эксплуатации деталей и изделий для составления расчетных моделей в прикладных пакетах инженерного анализа.	Знает основные разделы математики, физики, химии, теоретической механики, теории машин и механизмов и других общетехнических дисциплин для решения задач профессиональной деятельности	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-1	ИД-2ОПК-1	Умеет создавать линейные и нелинейные расчетные модели объектов с использованием прикладных программных средств для исследования их напряженно-деформированного и теплового состояния	Умеет применять основные разделы математики и физики для решения задач профессиональной деятельности, конструировать типовые элементы машин, выполнять расчёты их прочности и жёсткости	Отчёт по практическом у занятию
ОПК-1	ИД-3ОПК-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 применения основных разделов математики и физики в решении задач профессиональной деятельности, разработки типовых конструкций элементов машин и механизмов, расчёта напряжений и перемещений в деталях машин и оборудования	Индивидуальн ое задание
ОПК-12	ИД-1ОПК-12	Знает возможности и ограничения применимости модулей NX Design Simulation, Advanced Simulation при решении задач анализа напряженно-деформированного и теплового состояния конструкции, динамических процессов, а также поиска оптимальной конструкции изделия машиностроения на основе использования метода конечных элементов.	Знает состав и назначение стандартных программных средств, применяемых для решения задач профессиональной деятельности, современные информационные технологии, используемые для обеспечения функционирования машиностроительных предприятий	Дифференцир ованный зачет
ОПК-12	ИД-2ОПК-12	Умеет создавать конечно-элементные сетки, линейные и нелинейные расчетные модели исследуемых объектов для выполнения численного анализа их эксплуатационных свойств в NX Advanced	Умеет использовать прикладное программное обеспечение и современные информационные технологии при проектировании технологии производства изделий	Индивидуальн ое задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		Simulation, корректно интерпретировать полученные результаты.		
ОПК-12	ИД-3ОПК-12	Владеет навыками выполнения конечно-элементного моделирования статических и динамических процессов эксплуатации и изготовления конструкции с использованием NX Advanced Simulation	Владеет навыками применения стандартных программных средств для решения задач профессиональной деятельности	Индивидуальное задание
ПК-3.1	ИД-1ПК-3.1	Знает порядок подготовки, проведения и обработки результатов виртуального эксперимента по топологической и параметрической оптимизации геометрических характеристик изделия на основе описания условий его эксплуатации.	Знает методы проектно-конструкторской работы, закономерности и связи процессов создания машин, подход к формированию множества решений проектной задачи на структурном и конструкторском уровнях, выявления и сравнительной оценки оптимальных вариантов изделий, основы методологии математического моделирования технических систем	Дифференцированный зачет
ПК-3.1	ИД-2ПК-3.1	Умеет формулировать задачу оптимизационного анализа и выполнять в автоматизированном режиме геометрическую оптимизацию проектируемого изделия на основе результатов виртуального эксперимента	Умеет проектировать и конструировать элементы и системы машин, разрабатывать и обосновывать технические решения, удовлетворяющие требуемым показателям служебного назначения изделий, работать с программными системами, предназначенными для математического моделирования, анализировать надёжность технических систем, составлять структурные схемы изделий и производств, разрабатывать их	Отчёт по практическому занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
			математические модели, разрабатывать изделия сложной геометрии с использованием современных систем геометрического моделирования	
ПК-3.1	ИД-3ПК-3.1	Владеет навыками применения прикладных программных средств, интегрированных в САПР, при проведении оптимизационного анализа изделия машиностроения	Владеет навыками выбора аналогов и прототипа конструкции, проектирования конструкции, оценки надёжности технических элементов и систем, работы с программными системами математического моделирования, оформления результатов исследования и принятия технических решений, оформления законченных проектно-конструкторских работ	Индивидуальное задание

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:		
- лекции (Л)	32	32
- лабораторные работы (ЛР)		
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
- контрольная работа		
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72
2. Промежуточная аттестация		
Экзамен		
Дифференцированный зачет	9	9
Зачет		
Курсовой проект (КП)		
Курсовая работа (КР)		
Общая трудоемкость дисциплины	144	144

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	СРС
7-й семестр				
Основы работы с прикладными программными средствами инженерного анализа	4	0	4	10
Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Определение систем САЕ (computer aided engineering). Современные системы инженерного анализа, их назначение и виды решаемых задач. Основные этапы численного моделирования задач инженерного анализа в NX Advanced Simulation. Структура данных и файлов расчетной модели. Типы решаемых задач. Основные структурные элементы расчетной модели в NX. Использование Stress Wizard для решения базового анализа напряженно-деформированного состояния. Работа с навигатором симуляции NX. Опции визуализации при отображении результатов анализа в NX. Генерирование отчетов. Взаимодействие с другими модулями прикладного программного комплекса NX.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Создание и редактирование конечно-элементных моделей	8	0	6	10
Инструменты подготовки геометрических моделей к выполнению анализа Анализ геометрии модели детали или импортированного твердого тела. Основные команды подготовки геометрических моделей: синхронное моделирование. Идеализация геометрии: перенос, объединение и разъединение тел, срединные поверхности, исключение из расчетной модели незначимых элементов. Параметрические операции прямого редактирования геометрии исходной конструкции. Основы метода конечных элементов. Виды конечных элементов в NX. Структура конечно-элементной модели. Создание конечно-элементных моделей на основе полигональной геометрии в NX Advanced Simulation. Типы конечно-элементов (3D, 2D, 1D и 0D элементы). Выбор уровня и степени дискретизации модели. Контроль качества сетки. Особенности построения конечно-элементных моделей сборок. Физические свойства модели. Структура таблиц физических свойств материала. Библиотеки унифицированных часто используемых материалов. Команды создания и редактирования пользовательских материалов. Физические свойства оболочек, балок и сосредоточенных объектов. Ассоциативные данные и визуализация конечных элементов.				
Граничные условия расчетной модели	4	0	6	12
Нагрузки и ограничения степеней свободы. Общая последовательность действий при создании расчетной модели в NX Advanced Simulation. Характеристика объектов приложения нагрузок и ограничений степеней свободы в моделях с различной размерностью конечных элементов. Виды нагрузок и команды их задания в различных типах анализа. Назначение и способы задания ограничений на степени свободы. Использование систем координат и полей данных для определения нагрузок и ограничений степеней свободы. Задание объектов симуляции для определения условий взаимодействия компонентов в сборках. Определение объектов симуляции (контакт поверхность-поверхность, склеивание поверхности с поверхностью или ребром), и их использование для моделирования контактного взаимодействия между компонентами в моделях сборок.				
Базовые виды инженерного анализа в САПР	8	0	8	26

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Линейный статический анализ напряженно-деформированного состояния. Определение линейного статического анализа и методы решения системы уравнений равновесия. Задание параметров решения статического анализа напряженно-деформированного состояния в NX Advanced Simulation. Ограничения применимости линейного статического анализа, принятые упрощающие гипотезы, интерпретация результатов анализа. Анализ теплообмена и термоупругости Формулировка граничных условий для анализа теплообмена в NX Advanced Simulation. Необходимые физические свойства для анализа распределения тепла с использованием различных механизмов теплообмена. Последовательность действий при формулировании и решении анализа термоупругости. Анализ устойчивости Физические основы анализа устойчивости. Описание задачи устойчивости в терминах конечно-элементного анализа. Определение физических свойств материала, необходимых для расчета дифференциальной матрицы жесткости. Порядок действий при решении анализа устойчивости в NX Advanced Simulation. Интерпретация значений критической силы, соответствующей формам потери устойчивости, полученным в результате анализа. Оптимизационный анализ Виды оптимизации, реализуемые в NX Advanced Simulation (геометрическая, параметрическая, топологическая). Необходимые исходные данные для решения оптимизационного анализа. Элементы задачи оптимизации (целевая функция, проектные переменные и ограничения) и способы их представления в NX Advanced Simulation. Контрольные параметры оптимизационной задачи и их влияние на сходимость результатов.</p>				
Дополнительные виды инженерного анализа в САПР	8	0	12	14
<p>Нелинейный анализ Введение в нелинейный анализ, особенности конечно-элементного анализа с учетом нелинейного поведения конструкции. Геометрическая нелинейность (большие деформации и перемещения) и нелинейность материалов (использование диаграмм «напряжение-деформация» для описания поведения материалов после достижения предела пропорциональности). Специальные параметры итерационного решения</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
нелинейных анализов в NX Advanced Simulation. Динамический анализ Основы динамического анализа конструкции. Учет массовых, инерционных и упругодемпферных свойств конструкции в NX Advanced Simulation. Определение собственных частот и форм свободных колебаний конструкций. Анализ динамического поведения конструкции при установившемся гармоническом возбуждении и переходных процессов. Моделирование гидрогазодинамических процессов Общие сведения о возможностях модулей NX Flow/NX Advanced Flow. Построение области течения и применение технологии построения сеток Fluid Domain. Задание граничных условий потока при анализе процессов тепломассопереноса. Моделирование турбулентности. Виды представления результатов анализа гидрогазодинамических процессов.				
ИТОГО по 7-му семестру	32	0	36	72
ИТОГО по дисциплине	32	0	36	72

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Выполнение анализа напряженно-деформированного состояния детали «Кронштейн» с использованием Stress Wizard NX
2	Подготовка геометрической модели сварной конструкции к выполнению анализа
3	Создание конечно-элементных моделей объемных и листовых деталей и сборок
4	Задание физических свойств в конечно-элементной модели сварной конструкции. Работа с библиотеками материалов
5	Решение примеров задач анализа напряженно-деформированного состояния с различными схемами нагружения
6	Решение задачи анализа напряженно-деформированного состояния сварной конструкции с использованием объектов симуляции для соединения компонентов
7	Выполнение линейного статического анализа детали на основе данных о ее эксплуатации
8	Выполнение анализа распределения тепла в детали «Радиатор» с использованием различных механизмов теплообмена
9	Выполнение линейного анализа устойчивости детали «Крышка»
10	Выполнение оптимизационного анализа деталей на основе ранее проведенных анализов
11	Выполнение анализа процесса листовой штамповки с использованием не-линейной модели материала и нежесткого контакта поверхностей

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
12	Выполнение анализа собственных частот и переходных процессов в конструкции ферменной опоры
13	Моделирование динамики потока в модели климатической установки

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Модель образовательного процесса базируется на деятельностном подходе к процессу обучения, основное внимание уделяется освоению студентами практических умений решения задач инженерного анализа конструкций и процессов их изготовления, основанных на различных физических явлениях, с использованием численных методов моделирования.

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. Также в структуре образовательных технологий предусмотрены лекции, проводимые в интерактивной форме (лекции-дискуссии и лекции с разбором отдельных ситуаций), основывающиеся на самостоятельном изучении студентами теоретического материала соответствующих тем дисциплины.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием. На практических занятиях студенты под руководством преподавателя приобретают умения формулировать и решать задачи инженерного анализа поведения конструкций при различных внешних воздействиях с использованием пакета конечно-элементного моделирования NX Nastran. Взаимодействие преподавателя и студентов организуется в форме диалога. Студенты при этом являются активными участниками занятия и при наличии необходимых способностей могут осваивать материал самостоятельно. Данный вид занятий является тренингом, в котором основное внимание уделяется практической отработке изучаемого материала, когда в процессе составления расчетных моделей обучающиеся имеют возможность развить и закрепить необходимые знания и навыки, сформировать свое отношение к собственному опыту и применяемым подходам.

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 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
1. Основная литература		
1	Крюков А. Ю. Компьютерное моделирование изделий в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / А. Ю. Крюков. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	25
2	Савельева И. В. Математическое моделирование процессов теплопроводности методом конечных элементов : учебное пособие / И. В. Савельева, И. В. Станкевич. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.	1
3	Самогин Ю. Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Самогин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков. - Москва: Физматлит, 2012.	3
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. - Москва: ДМК, 2004.	2
2	Гаврюшин С. С. Численный анализ элементов конструкций машин и приборов / С. С. Гаврюшин, О. О. Барышникова, О. Ф. Борискин. - Москва: Изд-во МГТУ, 2014.	1
3	Моделирование и виртуальное прототипирование : учебное пособие для вузов / И. И. Косенко [и др.]. - Москва: Альфа-М, Уником Сервис, ИНФРА-М, 2012.	1
4	Сухарев А. Г. Методы оптимизации : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. - Москва: Юрайт, 2015.	15
2.2. Периодические издания		
1	САПР и графика : журнал / Компьютер Пресс. - Москва: Компьютер Пресс, 1996 - .0	1
2.3. Нормативно-технические издания		
1	Механические испытания. Расчет и испытания на прочность : сборник национальные стандарты. - Москва: Стандартиформ, 2005.	1
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	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	Основы моделирования машиностроительных изделий в автоматизированной системе «Siemens NX 10»	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/iprbooks85559	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Основы расчета изделия на прочность в приложении NX Расширенная симуляция	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/iprbooks85239	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	NX Advanced Simulation. Инженерный анализ	https://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/NX-CAE-book.pdf	сеть Интернет; 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
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	NX Academic Perpetual License Core +CAD +CAE +CAM (договор №P/43469-02-ПНИПУ от 03.12.2015)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	https://техэксперт.сайт/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Электронный проектор "NEC M300X"	1
Практическое занятие	ПК Intel Pentium Dual CPU 2000 МГц (с модификациями)	10

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Инженерный анализ изделий в системах автоматизированного
проектирования»**

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

**Направленность (профиль)
образовательной программы:** Цифровые технологии проектирования и
производства

Квалификация выпускника: «Бакалавр»

Выпускающая кафедра: Инновационные технологии машиностроения

Форма обучения: Очная

Курс: 4

Семестр: 7

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Дифференцированный зачёт: 7 семестр

Пермь 2020

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по практическим занятиям, выполнении индивидуальных заданий и дифференцированного зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				Итоговый Дифференцированный зачёт
	Текущий	Рубежный		ИЗ	
	ТО	ОПЗ	Т/КР		
Усвоенные знания					
3.1 знать способы отображения основных законов физики при описании процессов эксплуатации деталей и изделий для составления расчетных моделей в прикладных пакетах инженерного анализа	ТО1		КР1		ТВ
3.2 знать возможности и ограничения применимости модулей NX Design Simulation, Advanced Simulation при решении задач анализа напряженно-деформированного и теплового состояния конструкции, динамических процессов, а также поиска оптимальной конструкции изделия машиностроения на основе использования метода конечных элементов.	ТО2		КР2		ТВ
3.3. знать порядок подготовки, проведения и обработки результатов виртуального эксперимента по топологической и параметрической оптимизации геометрических характеристик изделия на основе описания условий его эксплуатации.	ТО3		КР2		ТВ
Освоенные умения					
У.1 уметь создавать линейные и нелинейные расчетные модели объектов с использованием прикладных программных средств для исследования		ОП31, ОП34	КР1, КР2		ПЗ

их напряженно-деформированного и теплового состояния					
У.2 уметь создавать конечно-элементные сетки, линейные и нелинейные расчетные модели исследуемых объектов для выполнения численного анализа их эксплуатационных свойств в NX Advanced Simulation, корректно интерпретировать полученные результаты.		ОП32	КР1		ПЗ
У.3. уметь формулировать задачу оптимизационного анализа и выполнять в автоматизированном режиме геометрическую оптимизацию проектируемого изделия на основе результатов виртуального эксперимента		ОП33	КР2		ПЗ
Приобретенные владения					
В.1 владеть 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		ОП31, ОП35		ИЗ1	ПЗ
В.2 владеть навыками выполнения конечно-элементного моделирования статических и динамических процессов эксплуатации и изготовления конструкции с использованием NX Advanced Simulation		ОП35, ОП36		ИЗ3	ПЗ
В.3 владеть навыками применения прикладных программных средств, интегрированных в САПР, при проведении оптимизационного анализа изделия машиностроения		ОП33		ИЗ2	ПЗ

ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОПЗ – отчет по практическому занятию; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ИЗ – индивидуальное (комплексное) задание, ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования

– программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по практическим занятиям, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты отчетов по практическим занятиям, выполнения индивидуальных заданий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита отчетов по практическим занятиям

Всего запланировано 13 практических занятий и подготовка 6 отчетов. Типовые темы практических занятий приведены в РПД.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Базовые сведения о численном инженерном анализе методом конечных элементов», вторая КР – по модулю 2 «Выполнение различных видов инженерных анализов конструкции».

Типовые задания первой КР:

1. Проанализировать геометрию импортированной детали, составить план ее идеализации для проведения расчета.

2. Выбрать вид конечно-элементной сетки для решения поставленной задачи.

3. Выбрать граничные условия для выполнения анализа конструкции по заданной схеме.

4. Описать последовательность решения статического анализа предложенной конструкции.

5. Выполнить визуализацию результатов статического анализа и интерпретировать их.

Типовые задания второй КР:

1. Выполнить линейный (нелинейный) статический анализ детали.
2. Выполнить стационарный (нестационарный) анализ теплообмена в конструкции.
3. Выполнить линейный (нелинейный) анализ устойчивости стержня.
4. Выполнить оптимизацию конструкции по заданным параметрам.
5. Выполнить анализ собственных частот конструкции.
6. Выполнить моделирование потока внутри контура.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Всего запланировано 3 комплексных индивидуальных задания. Типовые темы индивидуальных заданий:

1. Сравнить результаты анализа перемещений и углов поворота в балке заданного профиля аналитическим методом и методом конечных элементов в NX.
2. Выполнить параметрическую оптимизацию конструкции детали с учетом ограничений условий ее эксплуатации.
3. Составить расчетную модель и выполнить анализ тепловых процессов в системе охлаждения с учетом различных механизмов теплопередачи.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических занятий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет

содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Опишите структуру и порядок создания параметрических моделей изделий при проведении виртуального эксперимента.

2. Дайте определение методу конечных элементов, перечислите типы конечных элементов.

3. Опишите структуру и порядок создания расчетных моделей процессов эксплуатации и изготовления на основе параметрических моделей изделий.

4. Перечислите способы формального описания процессов эксплуатации конструкции для проведения ее анализа в прикладных пакетах конечно-элементного анализа.

5. Перечислите инструменты интеграции геометрических и расчетных моделей.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Выполните анализ результатов виртуального эксперимента по испытанию детали.

2. Составьте упрощенную расчетную модель изделия машиностроения для проведения динамического анализа.

3. Выполните планирование виртуального эксперимента по испытанию детали.

4. Создайте конечно-элементную сетку балки на основе эскизного представления детали для проведения виртуального эксперимента.

5. Решите задачу параметрической оптимизации конструкции с использованием результатов анализа его эксплуатационных свойств

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Выполните нелинейный анализ статического состояния узла с использованием виртуального эксперимента на основе геометрических моделей конструкций в NX.

2. Выберите тип конечно-элементной дискретизации ферменной конструкции для проведения численного анализа его состояния. Решение обоснуйте.

3. Выполните анализ геометрической модели изделия для параметрической оптимизации и выберите проектные переменные. Решение обоснуйте.

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.