

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

« 15 » мая 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Расчетные программные комплексы  
(наименование)

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

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

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

**Направление подготовки:** 08.04.01 Строительство  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Компьютерные технологии в проектировании и оценке  
безопасности зданий и сооружений  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цели: подготовка в области моделирования строительных конструкций зданий и сооружений различного назначения в соответствии с нормами проектирования, стандартами, справочниками на основе математических и компьютерных моделей, реализованных в специализированных САЕ-системах, углубление и расширение знаний, умений и навыков в данном направлении.  
Задачи: формирование знаний основных направлений и методов применения систем математического и компьютерного моделирования и средств численного анализа для производства работ по инженерно-техническому проектированию; формирование умений использования современных расчетных программных комплексов для проведения численного анализа в рамках производства работ по инженерно-техническому проектированию; формирование навыков владения способностью самостоятельной постановки и реализации вычислительных экспериментов для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Методы построения виртуальных аналогов промышленных и гражданских здания и сооружений, объектов городской инфраструктуры, специальных сооружений и частей их конструкции; программный пакет ANSYS Mechanical APDL

### 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
ПК-5.3	ИД-1ПК-5.3	Знает возможности САЕ-систем в области визуализации технических объектов и строительных конструкций; классификацию и свойства элементов твердотельных моделей в системах конечно-элементного анализа	Знает системы и методы проектирования; методы математического и компьютерного моделирования и средства численного анализа для производства работ по инженерно-техническому проектированию	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-5.3	ИД-2ПК-5.3	Умеет интерпретировать теоретические данные о конструкции, необходимые для верифицированного выбора типов элементов и их опций для решения краевых задач; создавать виртуальные аналоги строительных объектов с использованием систем визуального программирования; создавать и регулировать параметры дискретного аналога в ANSYS Mechanical APDL; осуществлять нагружение рассматриваемого объекта, проводить расчет с применением встроенных численных алгоритмов и анализировать его результаты	Умеет находить, анализировать и исследовать информацию, необходимую для моделирования и расчетного анализа для инженерно-технического проектирования строительных объектов; определять параметры имитационного информационного моделирования, численного анализа для производства работ по инженерно-техническому проектированию;	Индивидуальное задание
ПК-5.3	ИД-3ПК-5.3	Владеет практическими приемами приемами математического и компьютерного моделирования виртуальных визуальных аналогов реальных технических объектов, процессов и явлений; навыками применения встроенного языка APDL для проведения вычислительных экспериментов и обработки и интерпретации их результатов в CAE-системе ANSYS; методами тестирования и отладки разрабатываемых программных продуктов и модулей в прикладных программных пакетах	Владеет навыками постановки и реализации вычислительных экспериментов по заданным методикам, моделирования расчетных схем, действующих нагрузок, иные свойства элементов проектируемого объекта, разработки моделей процессов, явлений и объектов, оценки и интерпретации результатов исследований, способен использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности	Индивидуальное задание

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	9	9	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	32	32	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	99	99	
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	
1-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
1. Создание виртуальных твердотельных аналогов в специализированных САЕ-системах.	4	0	12	45
<p>Тема 1. Классификация программных продуктов для компьютерного проектирования и анализа, их совместимость и взаимодействие, графические возможности. Твердотельное моделирование и конечно-элементный анализ. Режимы работы в программном комплексе. Интерфейс пользователя, методы ввода инструкций. Использование документации (справки).</p> <p>Тема 2. Создание и визуализация геометрии в ANSYS Mechanical APDL.</p> <p>Состав программной группы и функции рабочих файлов. Основные группы и типы файлов. Основы языка APDL. Команды ввода-вывода. Массивы и таблицы данных, создание, размерность, типы, заполнение, чтение и запись в файлы, визуализация данных. Стадии построения модели. Структура программы на ADPL. Системы координат: глобальная, локальные, активная, СК рабочего поля, дисплейная, постпроцессорная. Системы координат узлов и элементов. Создание и изменение локальных СК. Настройка, изменение положения и ориентации рабочего поля. Построение геометрии методом «снизу-вверх». Иерархия геометрических объектов. Основные команды создания, удаления, модификации и выделения ключевых точек, линий, областей, объемов. Булевы операции: объединение, исключение, разделение над геометрическими объектами.</p>				
Раздел 2. Построение и расчет дискретного аналога для задач механики деформируемого твердого тела в ANSYS Mechanical APDL	5	0	20	54
<p>Тема 3. Генерация дискретного аналога твердотельного объекта</p> <p>Атрибуты элементов: тип, материал, геометрические характеристики, система координат. Назначение и изменение атрибутов. Установка параметров сетки: форма элементов, выбор размера, параметры автоматического сгущения. Особенности регулярного разбиения, конкатенация линий и областей. Команды нанесения плоской и объемных сеток, проверки качества и модификации.</p> <p>Тема 4. Нагружение и расчет дискретного аналога твердотельного объекта</p> <p>Способы приложения сосредоточенных и распределенных нагрузок. Команды создания и изменения граничных условий. Понятие о шагах нагружения (Load Steps) и подшагах нагружения</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
(Substeps). Выбор параметров решателя. Визуализация процесса расчета. Сходимость численного решения. Тема 5. Использование нелинейных моделей материалов конструкций. Изотропная билинейная (BISO) и кинематическая билинейная (BKIN) модели. Мультилинейные законы пластического деформирования MISO, MKIN. Модель разрушения бетона (CONCRETE), модель Друкера-Прагера. Технология армирования (Reinforcing). Допущения и варианты армирования: дискретный и распределенный. Тема 6. Анализ результатов численного расчета. Построение изолиний распределения неизвестных. Распределение неизвестных вдоль произвольной кривой на геометрии. Создание аннотаций. Элементные таблицы данных, эпюры. Графики. Автоматизированный сбор, сортировка и анализ узловых неизвестных. Тема 7. Технология субмоделирования. Этапы построения субмодели. Выявление проблемных локальных зон конструкции. Связь между обобщенной моделью и субмоделью. Граница интерполяции. Верификация субмодели.				
ИТОГО по 1-му семестру	9	0	32	99
ИТОГО по дисциплине	9	0	32	99

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Работа с документацией, поиск и анализ информации.
2	Построение конструкции на плоскости в интерактивном режиме.
3	Построение оболочки в пространстве (создание объектов в цилиндрической и эллиптической криволинейных системах координат. Перенос систем координат).
4	Применение языка APDL для сбора, обработки, анализа и экспорта данных.
5	Построение оболочек вращения с применением сплайнов и булевых операций.
6	Расчет плоских аналогов балочных конструкций и ферм (нагружение, построение и анализ эпюр)
7	Создание пространственной твердотельной конструкции с переносом рабочего поля и использованием булевых операций.
8	Нанесение плоской и пространственной конечно-элементной сетки.
9	Расчет напряженно-деформированного состояния многоэтажного здания (экструдирование, копирование элементов конструкции, учёт собственного веса)
10	Субмоделирование сложной конструкции (оболочечные и объемные элементы).

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
11	Моделирование бетонной плиты с учетом физической нелинейности материалов.
12	Моделирование системы «грунт-фундамент-здание».

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой 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 установления 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.

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	Басов К. А. ANSYS для конструкторов / К. А. Басов. - М.: ДМК Пресс, 2009.	5

2	Шингель Л. П. Системы автоматизированного проектирования. Решение задач прочностного анализа с использованием пакета программ ANSYS 12.1 : учебно-методическое пособие / Л. П. Шингель. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015.	25
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бартоломей М. Л. Численная реализация решения упругохрупких задач строительной механики в пакете ANSYS / М. Л. Бартоломей, А. А. Каменских, А. П. Шестаков. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2017.	5
2	Каменских А. А. Реализация решения задач механики контактного взаимодействия в прикладном пакете ANSYS : учебное пособие / А. А. Каменских, М. Л. Бартоломей. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.	5
<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	Бартоломей М. Л. Численная реализация решения упругохрупких задач строительной механики в пакете ANSYS / М. Л. Бартоломей, А. А. Каменских, А. П. Шестаков. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2017.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4339">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4339</a>	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Каменских А. А. Реализация решения задач механики контактного взаимодействия в прикладном пакете ANSYS : учебное пособие / А. А. Каменских, М. Л. Бартоломей. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3967">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3967</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	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching )
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Компьютер, проектор, экран	1
Практическое занятие	Компьютер	8

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

Описан в отдельном документе
------------------------------

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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Расчетные программные комплексы»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	08.04.01 Строительство
<b>Профили программ магистратур:</b>	Компьютерные технологии в проектировании и оценке безопасности зданий и сооружений, Обследование, мониторинг и экспертиза технического состояния конструкций зданий и сооружений
<b>Квалификация выпускника:</b>	магистр
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Строительные конструкции и вычислительная механика
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 1

**Семестр:** 1

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 зе

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

**Виды промежуточного контроля:** Диф. зачет

Пермь 2023 г.

**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 формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые части компетенций**

Согласно КМВ ОПОП учебная дисциплина участвует в формировании двух компетенции. В рамках учебного плана образовательной программы во 1-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

ПК-5.3 Способен применять системы математического и компьютерного проектирования и моделирования, универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы в соответствии с видами профессиональной деятельности.

### **1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные занятия, а также самостоятельная работа студентов.

В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

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

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

<b>Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)</b>	<b>Вид контроля</b>		
	Текущий	Рубежный	Промежуточный
<b>Усвоенные знания</b>			
<b>Знает</b> возможности САЕ-систем в области визуализации технических объектов и строительных конструкций; классификацию и свойства элементов твердотельных моделей в системах конечно-элементного анализа	С	КР	По результатам текущего и рубежного контроля
<b>Освоенные умения</b>			
<b>Умеет</b> интерпретировать теоретические данные о конструкции, необходимые для верифицированного выбора типов элементов и их опций для решения краевых задач; создавать виртуальные аналоги строительных объектов с использованием систем визуального программирования; создавать и регулировать параметры дискретного аналога в ANSYS Mechanical APDL; осуществлять нагружение рассматриваемого объекта, проводить расчет с применением встроенных численных алгоритмов и анализировать его результаты		ПЗ	По результатам текущего и рубежного контроля
<b>Приобретенные владения</b>			

<p><b>Владеет</b> практическими приемами математического и компьютерного моделирования виртуальных визуальных аналогов реальных технических объектов, процессов и явлений; навыками применения встроенного языка APDL для проведения вычислительных экспериментов и обработки и интерпретации их результатов в САЕ-системе ANSYS; методами тестирования и отладки разрабатываемых программных продуктов и модулей в прикладных программных пакетах</p>		ПЗ	По результатам текущего и рубежного контроля
--	--	----	--

*С-собеседование, КР – контрольная работа; РПР – расчетно-проектировочная работа; КР – курсовая работа; ТВ – теоретический вопрос экзамена (зачета), ПЗ - практическое задание экзамена (зачета).*

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

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

### **2.1. Текущий контроль**

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в электронную таблицу преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме контрольных работ и защиты индивидуальных практических заданий.

#### **2.2.1. Защита индивидуальных заданий**

Всего запланировано 4 индивидуальных задания. Типовые темы индивидуальных заданий приведены в РПД. Защита индивидуальных заданий проводится индивидуально каждым студентом.

Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

#### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 1 рубежная контрольная работа (КР)

##### **Типовое задание КР:**

##### Задание 1

1. Выполнить расчёт плоской фермы.
2. Продемонстрировать расчётную схему (ограничения степеней свободы и сосредоточенные нагрузки).
3. Определить реакции опор. Построить контуры перемещений и эпюры осевых напряжений, определить растянутые и сжатые стержни.
4. Определить количество степеней свободы модели.

Стержни фермы изготовлены из материала имеющего следующие свойства: модуль упругости 200 ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu=0.3$ . Площадь поперечного сечения стержней - 50 см<sup>2</sup>. Длина первого и последнего пролёта фермы 2 м. Длина среднего пролёта фермы 3 м. Высота конструкции 2 м. Величина сосредоточенной силы – 1000 Н. Тип конечного элемента: link180. Каждый стержень разбивается на один конечный элемент.

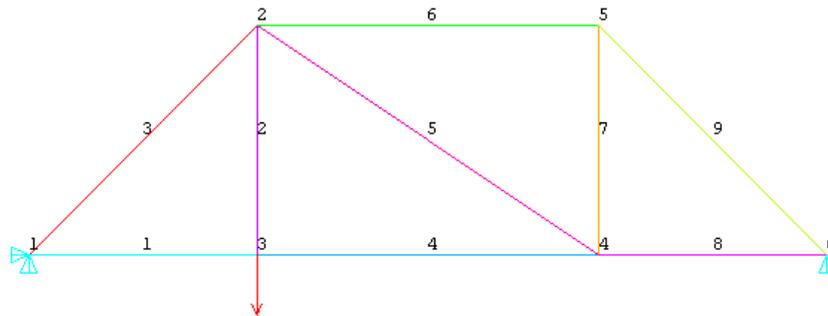


Рис. 1 – Ферма

### Задание 2

1. Произвести расчёт квадратной пластины. Заданы статические граничные условия такой величины, что максимальное значение интенсивности напряжений находится в диапазоне 100МПа - 200МПа.
2. Продемонстрировать расчётную схему (ограничения степеней свободы и распределенные нагрузки).
3. Построить для всей конструкции контуры суммарных перемещений, контуры вертикальных перемещений и контуры интенсивности напряжений. Определить максимальные вертикальные перемещения на верхней границе.
4. Определить количество степеней свободы модели.

Размеры пластины: 12x12см, радиус кругового отверстия 2см. Толщина пластины 5мм. Пластина изготовлена из материала со следующими свойствами: модуль упругости 240 ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu=0.28$ .

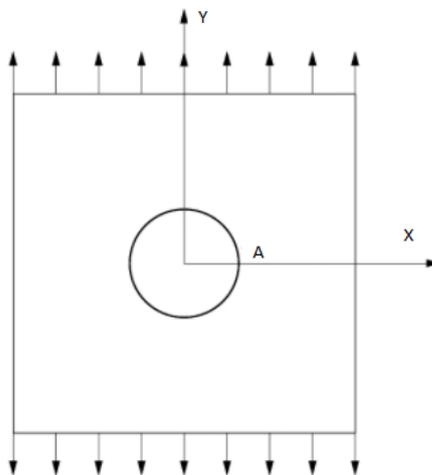


Рис. 2 – Пластина

Каждому студенту выдаются исходные данные для выполнения контрольной работы в соответствии с вариантом. Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

### **2.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде дифференцированного зачета.

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача контрольной работы, защиты всех индивидуальных практических заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Условиями получения зачета является успешная защита индивидуальных заданий,

которые выдаются индивидуально каждому студенту и рассчитываются на практических занятиях и в виде самостоятельной работы по определенному преподавателем заданию.

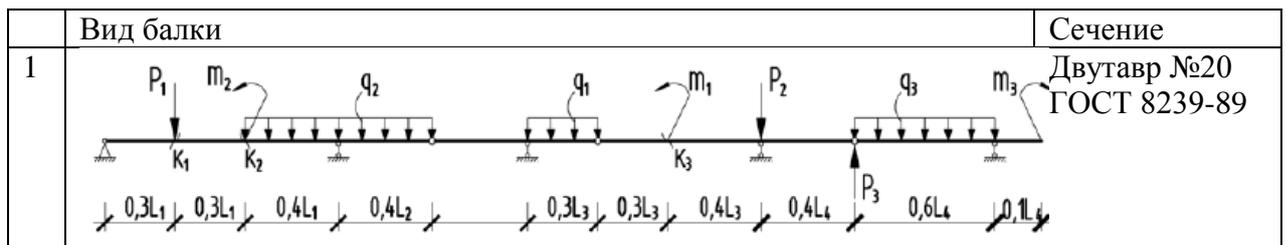
**Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Какие основные стадии построения конечно-элементной модели?
2. Что включает в себя стадия препроцессинга?
3. Что включает в себя стадия постпроцессинга?
4. Какие бывают виды конечных элементов в ANSYS Mechanical APDL?
5. Перечислите объекты конечно-элементной сетки, создаваемые в ANSYS Mechanical APDL и их характеристики.
6. В чем суть метода построения геометрии "снизу-вверх"?
7. Перечислите виды систем координат в ANSYS Mechanical APDL
8. Кратко опишите режимы работы в ANSYS Mechanical APDL

**Типовые задания для контроля освоенных умений и владений:**

1. Смоделировать расчёт статически определимой многопролетной балки. Конечный элемент - beam188. Построить эпюру изгибающий моментов. Построить контуры суммарных перемещений. Найти максимальное значение изгибающего момента и координаты соответствующего узла, отразить в отчете.

L <sub>1</sub> , м	L <sub>2</sub> , м	L <sub>3</sub> , м	L <sub>4</sub> , м	P <sub>1</sub> , кН	P <sub>2</sub> , кН	P <sub>3</sub> , кН	q <sub>1</sub> , кН/м	q <sub>2</sub> , кН/м	q <sub>3</sub> , кН/м	m <sub>1</sub> , кН·м	m <sub>2</sub> , кН·м	m <sub>3</sub> , кН·м
4,0	8,0	2,8	3,8	7	8	10	2,0	7,2	8,0	15	16	12



2. Для стальной рамы с заданными размерами и поперечными сечениями требуется:

- 1) - в рамках одного упругого расчёта или нескольких найти допускаемую  $F$  нагрузку по условию прочности:

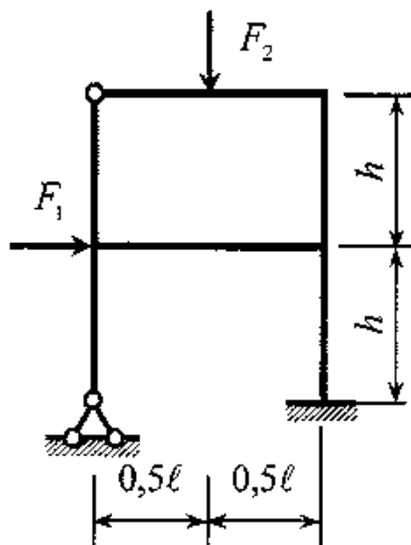
$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq \sigma_T$$

максимальные эквивалентные напряжения найти с помощью отрисовки контуров эквивалентных напряжений и команды \*get,...,plnsol,0,max

- 2) - для найденной нагрузки:
  - а) построить эпюру изгибающих моментов;
  - б) построить контуры эквивалентных напряжений (с включенным отображением сечений элементов);
  - в) определить место (с помощью прохода по узлам определить координаты в ГДСК) и значение максимальных суммарных перемещений (команды \*get);
  - г) определить значение реакции опор (команда fsum).

Балки изготовлены из стали, имеющей следующие свойства: модуль упругости  $E=2 \cdot 10^2$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ , предел текучести  $\sigma_T = 245$  МПа. Конечный элемент - beam189. Характеристики профилей для колонн и ригелей взять из ГОСТ 26020-83 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок».

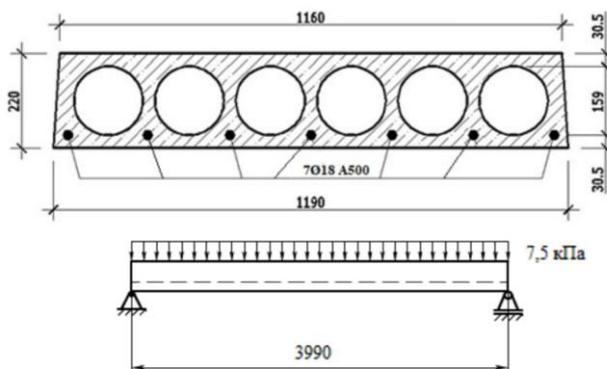
2	5	2,5	$F$	$2 F$	$F$	26К1	30Ш2
---	---	-----	-----	-------	-----	------	------



3. Определить НДС окрестности концентратора напряжений многопустотной плиты перекрытия (ГОСТ 9561-2016) с помощью технологии субмоделирования.

Материал: бетон, класс бетона В10 ( $E=19$  ГПа,  $\nu=0.2$ ), арматура А400 ( $E= 200$  ГПа  $\nu=0.3$ ), диаметр 18мм.

Условия опирания и нагружения соответствуют шарнирно-опертой балке, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой. Конечные элементы исходной модели: solid185 для бетона, link180 для арматуры. В субмодели все элементы solid186.



4. Провести моделирование прогиба армированной бетонной балки под внешней нагрузкой с учётом нелинейных моделей материалов.

В рамках работы рассмотреть четыре варианта моделирования с различной комбинацией используемых моделей. По итогу моделирования сравнить результаты аналогичных комбинаций моделей материалов.

В качестве нелинейных моделей поведения материала рассматривается билинейная модель пластичности с изотропным упрочнением BISO и модель разрушения бетона CONCRETE (под разрушением понимается выключение из работы конечных элементов, в которых напряжения превысили заданный предел).

Длина балки  $L=10$ м, нагрузка находится посередине балки и имеет исходное значение 10кН. Расчётная схема задачи представлена на рисунке 1. Сечение балки с отображением арматуры представлено на рисунке 2.

Свойства бетона, свойства стальной арматуры, а также диаметр арматуры задать самостоятельно. Необходимо использовать одинаковые свойства для всех вариантов моделирования.

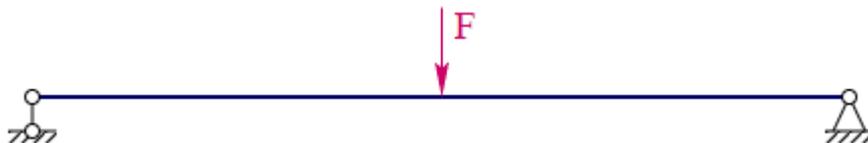


Рис 1. Расчётная схема

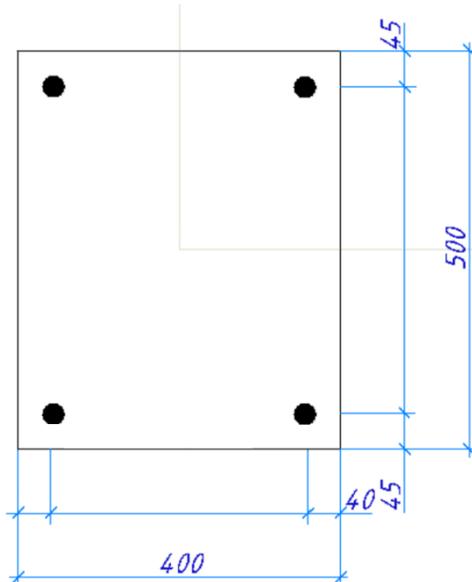


Рис 2. Сечение с отображением арматуры

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится путем полного контроля производимого магистрантом конечно-элементного моделирования всех поставленных задач.

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

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных 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 программы магистратуры.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных частей компетенций**

При оценке уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций в рамках выборочного контроля при сдаче экзамена или на зачете считается, что полученная оценка проверяемой в билете дисциплинарной части компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных частей компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

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

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных частей компетенций приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных 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 программы магистратуры.

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