

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Суслин А. В.  
(подпись)                      ФИО  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

Направление/специальность подготовки	15.04.03 Прикладная механика
Специализация/профиль/программа подготовки	Механика процессов обработки давлением
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**15.04.03 Прикладная механика**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА  
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
Сидоренко Тимофей Владимирович, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Заведующий кафедрой Нестеров Н.И., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Заведующий кафедрой Нестеров Н.И., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-10 — способность разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики
ОПК-12 — способность создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации
ОПК-5 — способность разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-10**

*знания:*

применение специализированных расчетных программных средств для создания компьютерных моделей для оценки расчётных параметров изделий и процессов в области машиностроения и области проектирования боеприпасов;;

*умения:*

аналитическая оценка получаемых результатов расчёта, построение графических и математических зависимостей для их оценки результатов;

*навыки:*

разработка, обоснование и использование теоретических моделей, позволяющих исследовать динамические процессы и прогнозировать уровень тактико-технических характеристик разрабатываемых образцов боеприпасов и технологий их изготовления;

подготовка научно-технических отчетов по результатам выполненных расчётов.

### **ОПК-12**

*знания:*

на уровне понимания: разработка методик расчета, оптимизации и структурно-параметрического синтеза технологий изготовления элементов боеприпасов, а также их конструкций;

использование информационных и компьютерных технологий при проектировании образцов боеприпасов и разработки технологий их изготовления;

*умения:*

построение расчётных алгоритмов и программных модулей для определения основных параметров технологических процессов и построение взаимных связей, получаемых результатов;

*навыки:*

корректное составление алгоритмов расчёта требуемых величин (технологических параметров), позволяющих быстро получать их итоговые значения при изменении исходных данных.

### **ОПК-5**

*знания:*

общие принципы разработки методов расчёта машиностроительных изделий и боеприпасов, а также технологии их изготовления;

представление о верификации и валидации методов;

*умения:*

верификация и валидация выполненных расчётов численными и аналитическими методами;

*навыки:*

выполнение научно-технических отчётов с анализом и сопоставление результатов, полученных разными методами.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.04.03 Прикладная механика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		
				ВСЕГО	Практические занятия		ОПК-10	ОПК-12	ОПК-5
5	9	<b>Раздел 1. 1.1 Общее представление о численных методах.</b> 1.1 Основные понятия численного моделирования 1.2 Базовые основы работы в программном комплексе Ansys.	12	4	4	8	20	20	30
5	9	<b>Раздел 2. 2.2 Основы моделирования методом конечных элементов.</b> 2.1 Общее представление о методе конечных элементов 2.2 Классы решаемых задач и виды анализа 2.3 Геометрическое моделирование и построение конечно-элементной сетки 2.4 Задание граничных условий 2.5 Задание характеристик материала. 2.6 Постпроцессинг и анализ напряжённо-деформированного состояния 2.7 Решение задач в динамической постановке 2.8 Использование подмоделирования.	52	12	12	40	40	40	40
5	9	<b>Раздел 3. 3.3 Моделирование процессов обработки металлов давлением.</b> 3.1 Моделирование процесса гибки листового материала 3.2 Моделирование процесса осадки цилиндрической заготовки 3.3 Моделирование процесса вытяжки без утонения.	44	18	18	26	40	40	30
<b>Всего за 9 семестр</b>			108	34	34	74	100	100	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	34	34	74	100	100	100

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. 1 Общее представление о численных методах.	Общее представление о структуре программного комплекса Ansys. Основы работы с интерфейсом. Основные модели. Базовые основы работы в программном комплексе Ansys.	4
2	Раздел 2. 2 Основы моделирования методом конечных элементов.	Основы моделирования методом конечных элементов. Геометрическое моделирование. Построение сетки. Виды граничных условий. Моделирование контактных взаимодействий. Моделирование задач в статической и динамической постановке. Анализ результатов.	12
3	Раздел 3. 3 Моделирование процессов обработки металлов давлением.	Моделирование процессов обработки металлов давлением: гибка листового материала, осадка цилиндрической заготовки, вытяжки без утонения. Анализ результатов и напряженно-деформированного состояния.	18
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>34</b>

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. 1 Общее представление о численных методах.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	8
2	Раздел 2. 2 Основы моделирования методом конечных элементов.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	40
3	Раздел 3. 3 Моделирование процессов обработки металлов давлением.	Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	26
<b>Всего за 9 семестр</b>			<b>74</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9					ИПЗ	ДР				ДР	ИПЗ					ДР	ИПЗ, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;

- ИПЗ – индивидуальное практическое задание;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Власов, С. А. Стебунов, С. А. Евсюков. . Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019, эл. рес.
2. В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2010, эл. рес.
3. В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2013, эл. рес.
4. К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2006, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> (ЭБС ЛАНЬ);
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) (Электронная библиотека университета) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. КОМПАС-3D V17;
2. Ansys.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

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

### **6.1. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. КОМПАС-3D V17;
3. Ansys.

### **6.2. Прочее:**

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

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.04.03 Прикладная механика*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е4 ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-10 способность разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики;

ОПК-12 способность создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации;

ОПК-5 способность разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с использованием информационных и компьютерных технологий при проектировании образцов боеприпасов и технологий их изготовления. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. 1 Общее представление о численных методах.</b>		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS: М.: ДМК Пресс, 2006 (1, 2, 3) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2013 (1, 2, 3, 4, 5, 6) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2010 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	8
Итого по разделу 1		8
<b>Раздел 2. 2 Основы моделирования методом конечных элементов.</b>		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS: М.: ДМК Пресс, 2006 (1, 2, 3) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2010 (1, 2, 3, 4, 5, 6) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2013 (1, 2, 3, 4, 5, 6) А. В. Власов, С. А. Стебунов, С. А. Евсюков. . Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019 (-)	40
Итого по разделу 2		40
<b>Раздел 3. 3 Моделирование процессов обработки металлов давлением.</b>		
Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	К. А. Басов. . Графический интерфейс комплекса ANSYS: М.: ДМК Пресс, 2006 (1, 2, 3) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2010 (1, 2, 3, 4, 5, 6) В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2013 (1, 2, 3, 4, 5, 6)	26
Итого по разделу 3		26

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

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

- диагностическая работа
- индивидуальное практическое задание;
- дифференцированный зачет.

### **Критерии оценивания**

#### **Диагностическая работа**

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### **Индивидуальное практическое задание**

Практическое задание оценивается по трём критериям:

- построена конечно-элементная модель (построена конечно-элементная сетка, заданы граничные условия, параметры анализа), выполнен её расчёт с выводом необходимых результатов (в зависимости от варианта задания: напряженно-деформированное состояние, реализующиеся усилия/реакции, деформации), выполнен отчёт с описанием конечно-элементной модели, анализом полученных результатов и сопоставлением с аналитическим решением (численно-аналитическим решением, результатом эксперимента и т.п);
- выполнен отчёт описывающий конечно-элементную модель, приведены результаты расчёта и выполнен их анализ;
- в устной форме студент смог обосновать принятые приёмы моделирования и корректность полученных результатов.

#### **Дифференцированный зачет**

Оценка выставляется на основании совокупности выполненных индивидуальных заданий и полноты их выполнения в соответствии с технологической картой на дисциплину.

Оценка «Зачтено-отлично» выставляется за полное выполнение трёх предусмотренных планом заданий.

Оценка «Зачтено-хорошо» выставляется за полное выполнение заключительного индивидуального задания и одного из двух оставшихся (или частичного выполнения двух оставшихся заданий).

Оценка «Зачтено-удовлетворительно» выставляется за полное выполнение заключительного индивидуального задания, без выполнения остальных.

Оценка «Зачтено-неудовлетворительно» выставляется если не выполнено заключительное задание.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ОПК-10	ОПК-12	ОПК-5	
5	9	Раздел 1. 1 Общее представление о численных методах.	12	4	4	8	20	20	30	Индивидуальное практическое задание
5	9	Раздел 2. 2 Основы моделирования методом конечных элементов.	52	12	12	40	40	40	40	Индивидуальное практическое задание
5	9	Раздел 3. 3 Моделирование процессов обработки металлов давлением.	44	18	18	26	40	40	30	Индивидуальное практическое задание
Всего за 9 семестр			108	34	34	74	100	100	100	
Всего по дисциплине			108	34	34	74	100	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-10

Вопросы открытого типа:

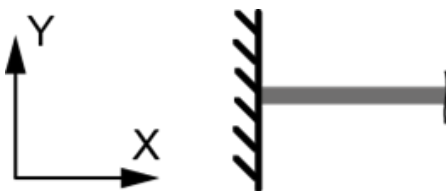
- № 1 Термин, означающий процедуру подтверждения адекватности модели моделируемому объекту реального мира
- № 2 Термин, означающий процедуру подтверждения соответствия компьютерной реализации математический (либо информационной) модели
- № 3 В методе конечных элементов, поле физической величины в исходной области рассчитывается в ... элементов, а внутри элемента аппроксимируется заданной функцией.
- № 4 Для решения задачи статической прочности для упругого изотропного материала при линейной постановке задачи и без приложения инерционных нагрузок укажите минимально необходимое количество параметров материала для задания
- № 5 Сколько ограничений по кинематическим степеням свободы имеет изображённое на рисунке закрепление (двухмерная постановка)?



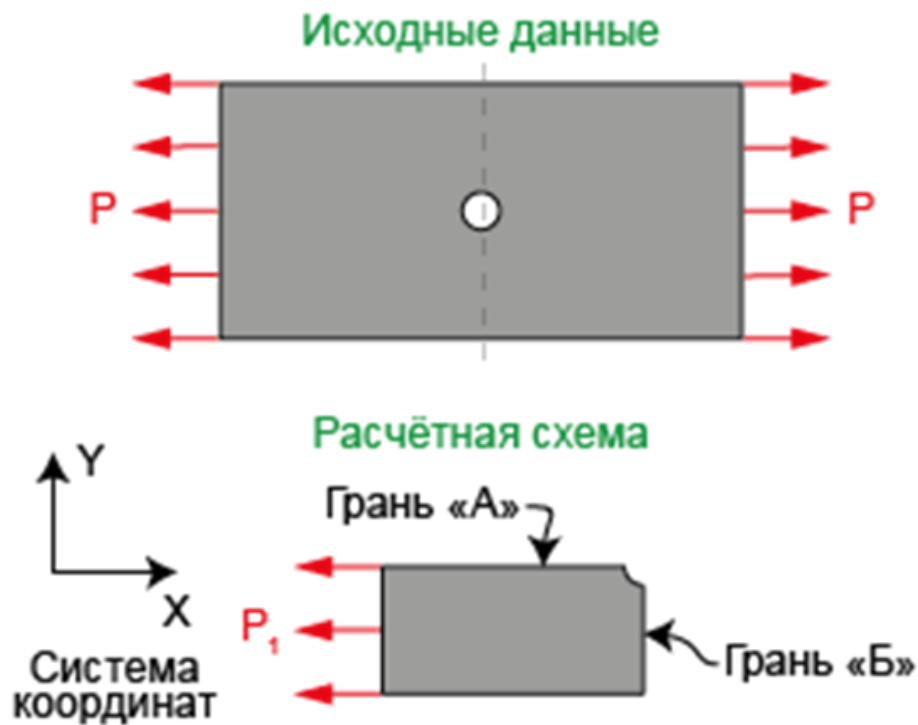
- № 6 Сколько ограничений по кинематическим степеням свободы имеет изображённое на рисунке закрепление (двухмерная постановка)?



- № 7 Сколько ограничений по кинематическим степеням свободы имеет изображённое на рисунке закрепление (двухмерная постановка)?



- № 8 Выберите какие граничные условия требуются задать на гранях «А» и «Б» для задачи Кирша (растягивание пластинки с отверстием, используются плоские элементы, моделирующие плосконапряжённое деформированное состояние).



- Грань А, закрепление по перемещению в направлении X
- Грань А, закрепление по перемещению в направлении Y
- Грань А, закрепление по повороту относительно оси Z
- Грань А, закрепление по перемещению в направлении X
- Грань А, закрепление по перемещению в направлении Y
- Грань А, закрепление по повороту относительно оси Z

№ 9 Какие закрепления необходимо назначить для точки «А», для того чтобы расчётная схема была эквивалентна заданной?



- Закрепление по перемещению в направлении X
- Закрепление по перемещению в направлении Y
- Закрепление по повороту относительно оси Z

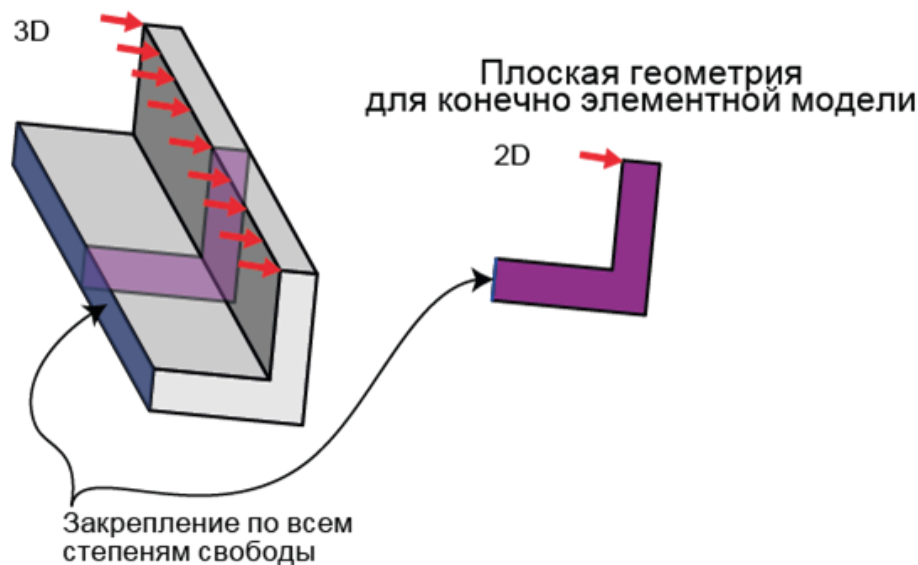
№ 10 При моделировании вытяжки плоскими осесимметричными элементами, выберете, какие особенности задачи можно учесть при моделировании

- разностенность
- складкообразование
- упругая разгрузка
- НДС инструмента

Вопросы закрытого типа:

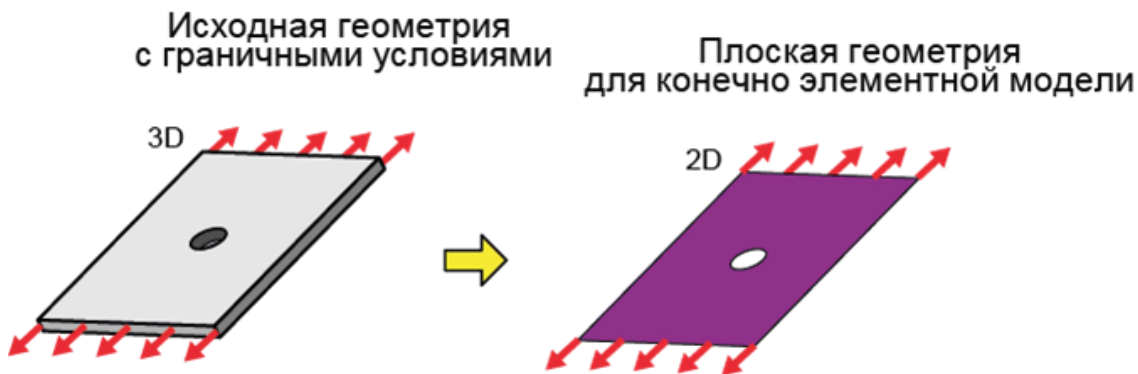
№ 1 Какой тип плоских конечных элементов стоит использовать для моделирования задачи, показанной на рисунке?

**Исходная геометрия  
с граничными условиями**



- а) плоские элементы для моделирования плоскодеформированного напряжённо-деформированного состояния;
- б) плоские элементы для моделирования плосконапряжённого напряжённо-деформированного состояния;
- в) для осесимметричного НДС;
- г) оболочечные элементы.

№ 2 Какой тип плоских конечных элементов стоит использовать для моделирования задачи, показанной на рисунке?

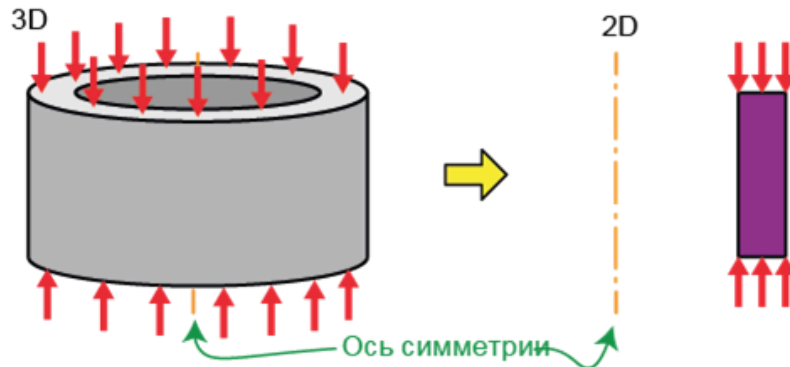


- а) плоские элементы для моделирования плоскодеформированного напряжённо-деформированного состояния;
- б) плоские элементы для моделирования плосконапряжённого напряжённо-деформированного состояния;
- в) для осесимметричного НДС;
- г) оболочечные элементы.

№ 3 Какой тип плоских конечных элементов стоит использовать для моделирования задачи, показанной на рисунке?

Исходная геометрия  
с граничными условиями

Плоская геометрия  
для конечно элементной модели



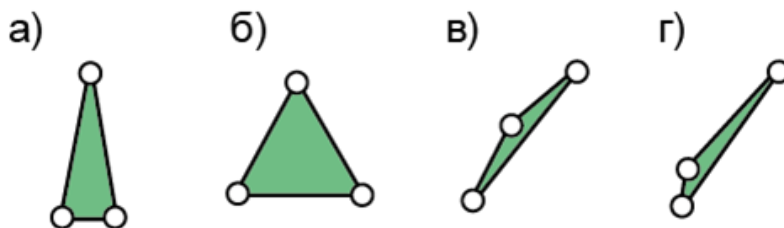
а) плоские элементы для моделирования плоскодеформированного напряжённо-деформированного состояния;

б) плоские элементы для моделирования плосконапряжённого напряжённо-деформированного состояния;

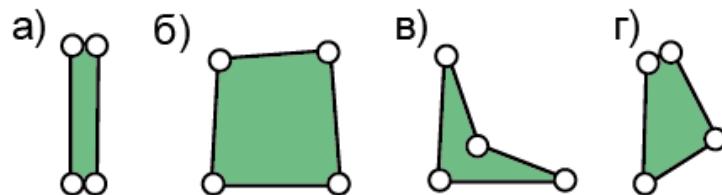
в) для осесимметричного НДС;

г) оболочечные элементы.

№ 4 Какой из приведённых на рисунке элементов, обеспечит наибольшую точность результатов (в общем случае)?



№ 5 Какой из приведённых на рисунке элементов, обеспечит наибольшую точность результатов (в общем случае)?



№ 6 Для линейной статической задачи (например, для консольно заделанной балки с размерами  $l = 5d$ ), как изменятся напряжения при расчёте если приложенные нагрузки увеличить в два раза?

а) уменьшатся в два раза

б) не изменятся

в) увеличатся в два раза

г) невозможно заранее оценить

№ 7 Выберите правильное утверждение.

При моделировании методом конечных элементов (также как и любым другим численным методом)

...

а) результаты расчёта всегда должны проверяться несколькими способами (аналитическими, экспериментальными).

б) результаты решения МКЭ самодостаточны, их проверка не требуется, иначе перепроверка результатов другими методами лишает его смысла.

в) достаточно того, что результаты просто выглядят правдоподобно на первый взгляд.

г) результаты просто нужно подгонять под требуемые значения.

№ 8 При моделировании МКЭ (необходимо определить напряжения), чем будет наиболее рационально моделировать балку ( $l/h > 100$ ) открытого сечения (швеллер) работающего на кручение?

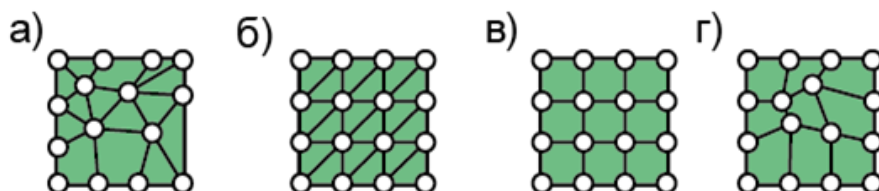
а) Простыми балочными элементами, т.к. гипотеза плоских сечений выполняется

б) Оболочечными элементами, т.к. они будут наиболее оптимальны с точки зрения вычислительных ресурсов

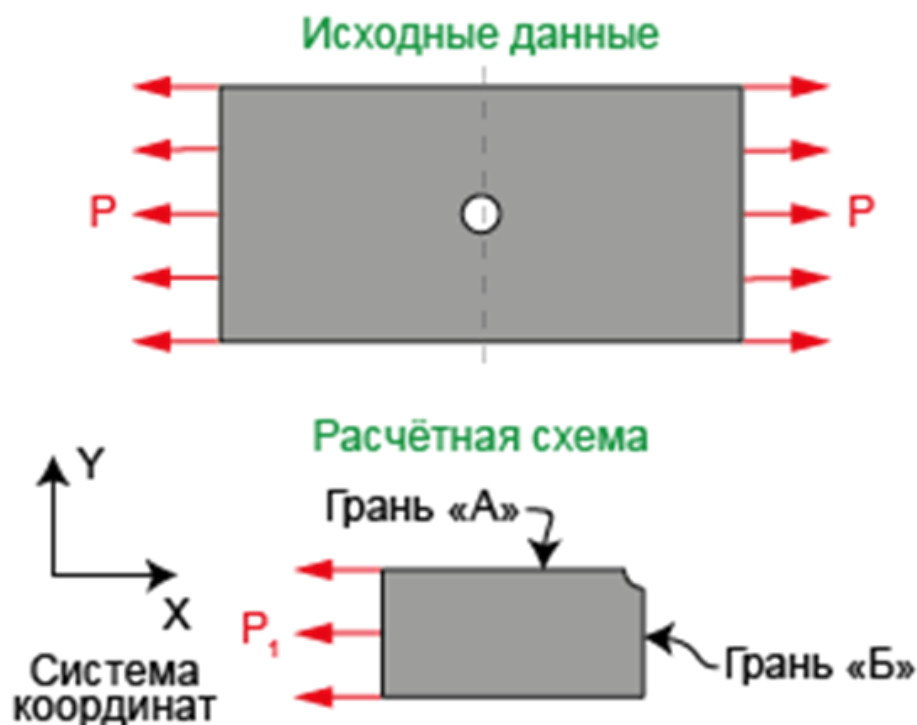
в) Объёмными элементами, т.к. они позволят смоделировать геометрию наиболее точно, ресурсозатратность вычислительных ресурсов это всегда хорошо

г) Эту задачу нерационально решать МКЭ, достаточно посчитать формулой сопромата  $M/W$

№ 9 Какая из сеток является более предпочтительной (в общем случае)?



№ 10 Для задачи Кирша (растягивание пластинки с отверстием, используются плоские элементы) показанной на рисунке, чему будет равно значение силы  $P_1$  относительно силы  $P$ ?



а)  $2P$

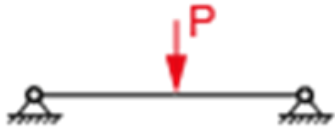
б)  $P$

в)  $P/2$

г)  $P/4$

№ 11 Для расчётной схемы, показанной на рисунке, чему будет равно значение силы  $P_1$  относительно силы  $P$ ?

## Исходные данные



## Расчётная схема



а)  $2P$

б)  $P$

в)  $P/2$

г)  $P/4$

**ОПК-12**

№ 1

*Вопросы открытого типа:*

Соотнесите обозначения в уравнении теории упругости, решаемом методом конечных элементов, с соответствующими им расшифровкам

$[K]$

$\{U\}$

$\{F\}$

– вектор узловых перемещений

– вектор узловых сил

– матрица жёсткости

№ 2

Соотнесите обозначения в уравнении теплопроводности, решаемом методом конечных элементов, с соответствующими им расшифровкам

$[K]$

$\{T\}$

$\{Q\}$

– вектор тепловых нагрузок

– матрица теплопроводности

– вектор узловых температур

№ 3

Соотнесите обозначения в уравнении теории упругости

$$[M] \frac{d^2}{dt^2} \{U\} + [C] \frac{d}{dt} \{U\} + [K] \{U\} = \{F(t)\}$$

решаемом методом конечных элементов, с соответствующими им расшифровкам

$[M]$

$[C]$

[K]  
 {U}  
 {F(t)}

- вектор узловых перемещений
- матрица демпфирования
- матрица масс
- вектор узловых сил
- матрица жёсткости

№ 4

Укажите типичную последовательность для схемы решения задачи с помощью МКЭ

- а. создание КЭ-модели
- б. обработка и анализ результатов
- в. получение решения
- г. постановка граничных условий
- д. постановка задачи

№ 5

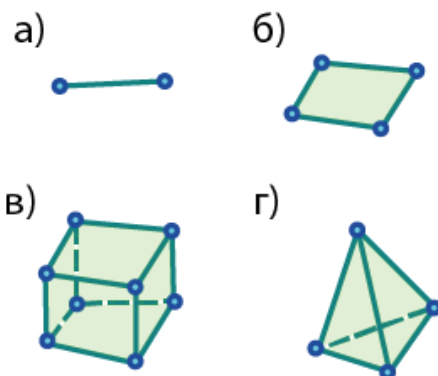
Обычно специализированное программное обеспечение для инженерного анализа (САЕ-системы), в том числе реализующее метод конечных элементов, делится на следующие составные части. Соотнесите их название с назначением.

препроцессор  
 (preprocessor)  
 решатель  
 (solver)  
 постпроцессор  
 (postprocessor)

- получение численного решения
- подготовка геометрической/расчётной модели к расчёту
- обработка полученных результатов

№ 6

Соотнесите название изображение конечного элемента и его название.



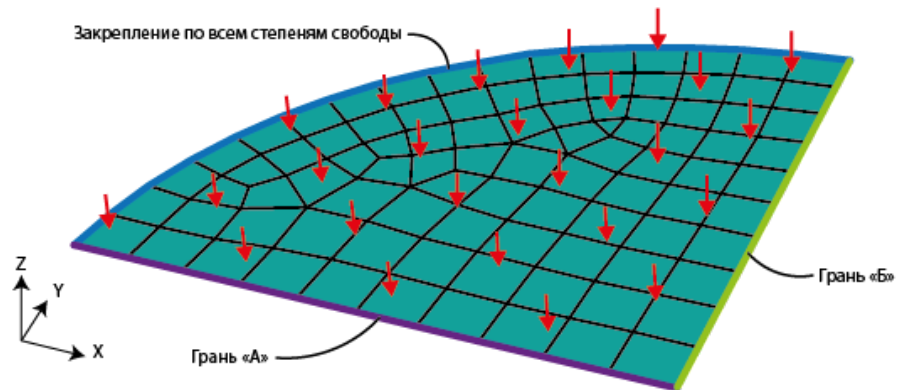
Оболочечный элемент  
 Плоский элемент  
 Балочный элемент  
 Тетраэдрический твердотельный элемент  
 Гексаэдрический твердотельный элемент

№ 7

В методе конечных элементов для расчета физической величины внутри элемента используется ... функция

№ 8

Оболочочными элементами моделируется круглая пластинка, защемлённая по торцевой грани и нагруженная равномерным давлением по поверхности. Какие ограничения по перемещениям необходимо приложить к грани «А» и грани «Б», чтобы модель на рисунке была эквивалентна полной модели?



Грань А, линейные перемещения в направлении X

Грань А, линейные перемещения в направлении Y

Грань А, линейные перемещения в направлении Z

Грань А, поворот вокруг оси X

Грань А, поворот вокруг оси Y

Грань А, поворот вокруг оси Z

Грань Б, линейные перемещения в направлении X

Грань Б, линейные перемещения в направлении Y

Грань Б, линейные перемещения в направлении Z

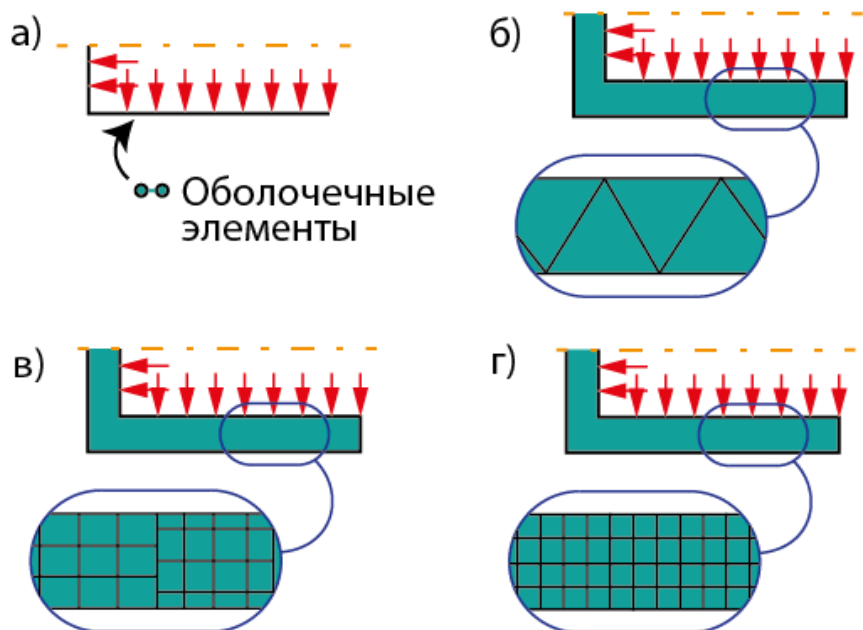
Грань Б, поворот вокруг оси X

Грань Б, поворот вокруг оси Y

Грань Б, поворот вокруг оси Z

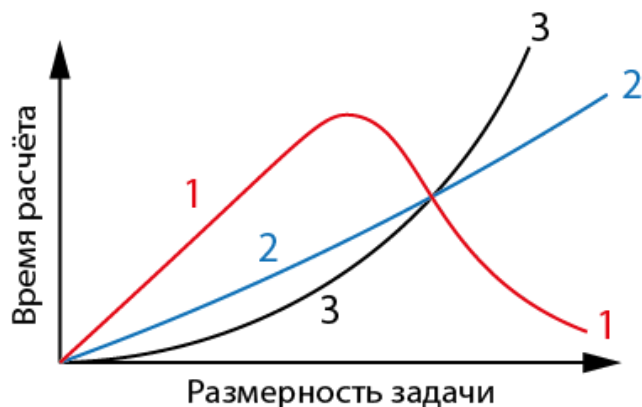
№ 9

Выберите допустимые конечно-элементные модели по моделированию стакана, нагруженного давлением по внутренней поверхности.



№ 10

Выберите характерную зависимость времени расчёта от размерности задачи



Неявный решатель

Явный решатель

Вопросы закрытого типа:

№ 1 Выберите правильное утверждение.

При увеличении количества конечных элементов в модели для решателей, реализующих неявные методы, вычислительная сложность задачи ...

- а) увеличивается экспоненциально
- б) увеличивается линейно
- в) не изменяется, всё определяется мощностью вычислительного устройства
- г) уменьшается линейно
- д) уменьшается экспоненциально

№ 2 Выберите правильное утверждение.

При моделировании методом конечных элементов задачи Кирша (растяжение пластины с отверстием по середине), при уменьшении размера КЭ в зоне локализации наибольших напряжений...

- а) значения напряжений линейно растут
- б) значения напряжений постоянно растут, приближаясь к теоретическому значению, затем резко возрастают
- г) практически не зависят от размера конечного элемента
- д) значения напряжений постоянно растут, приближаясь к теоретическому значению, затем резко падают

№ 3 При моделировании методом конечных элементов, размерность задачи (количество уравнений, которые необходимо решить, определяющих размерность матрицы) равно

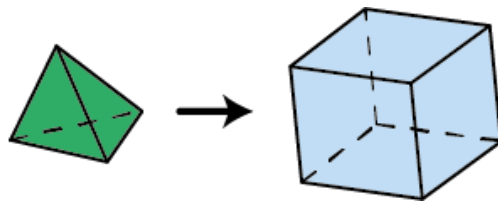
- а) сумме узлов модели
- б) сумме элементов модели
- в) сумме узлов модели умноженных на число степеней свободы в каждом узле
- г) произведению количества элементов модели на число узлов

№ 4 Выберите правильное утверждение.

Квадратичные элементы ...

- а) требуют меньше ресурсов для решения относительно линейных при том же размере элемента.
- б) требуют больше ресурсов для решения относительно линейных при том же размере элемента.
- в) не влияют на вычислительную сложность задачи относительно линейных.

- г) просто собираются из двух линейных элементов
- № 5 Как преимущество есть у гексаэдрических твердотельных элементов относительно тетраэдрических элементов?
- а) Проще алгоритм разбиения, особенно для сложной геометрии
- б) Больше узлов при той же плотности (количество элементов на единицу объёма)
- в) Меньше узлов при той же плотности (количество элементов на единицу объёма)
- г) Нет никаких преимуществ.
- № 6 Выберите правильное утверждение.
- Для решения задач нелинейной статики методом конечных элементов...
- а) из задачи убирается нелинейность (нелинейные свойства материала, контакты, геометрическая нелинейность).
- б) задача разбивается на N шагов (нужно вручную подобрать значение нагрузки и решать задачу итерационно, на каждой итерации подбирая значение силы таким образом, чтобы задача сходилась).
- в) используется метод Ньютона-Рафсона.
- г) используется решатель явной динамики, т.к. в статической постановке такие задачи не решаются.
- № 7 Выберите правильное утверждение.
- Явная динамика отличается от неявной динамики тем, что в ней ...
- а) учитываются инерционные силы.
- б) решаются уравнения сохранения массы, импульса и энергии в координатах Лагранжа (для каждого подшага на основе предыдущего).
- в) учитывается история преднагружения.
- г) матричные уравнения решаются в явном виде.
- № 8 Основное уравнение для статических задач теории упругости (в матричной записи) решаемое методом конечных элементов
- 1.
- $$[K]\{U\} = \{F\}$$
- 2.
- $$[M]\frac{d^2}{dt^2}\{U\} + [C]\frac{d}{dt}\{U\} + [K]\{U\} = \{F(t)\}$$
- 3.
- $$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi(\vec{r},t) + V(\vec{r},t) \cdot \Delta\Psi(\vec{r},t) = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\vec{r},t)$$
- 4.
- $$2\sigma_m^2 = (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2)$$
- № 9 Какое минимальное количество тетраэдрических конечных элементов требуется для того, чтобы построить из них гексаэдр?

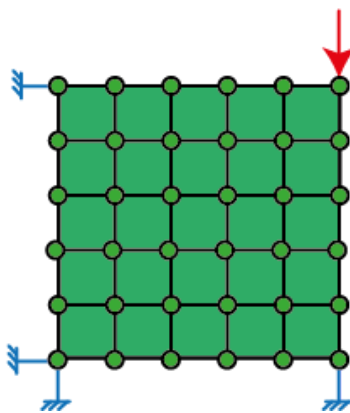


- а) 3
- б) 4
- в) 5
- г) 6

№ 10

Определите число степеней свободы модели (прочностной анализ), показанной на рисунке.

### Плоские элементы (плосконапряжённая постановка)



- а) 108
- б) 5
- в) 4
- г) 36

### ОПК-5

Вопросы открытого типа:

- № 1 Сколько узлов у гексаэдрического твердотельного конечного элемента второго порядка?
- № 2 Сколько узлов у гексаэдрического твердотельного конечного элемента первого порядка?
- № 3 Сколько узлов у тетраэдрического твердотельного конечного элемента второго порядка?
- № 4 Сколько узлов у тетраэдрического твердотельного конечного элемента первого порядка?
- № 5 Сколько узлов у четырёхугольного оболочечного конечного элемента второго порядка?
- № 6 Сколько узлов у четырёхугольного оболочечного конечного элемента первого порядка?
- № 7 Сколько узлов у треугольного оболочечного конечного элемента второго порядка?
- № 8 Сколько узлов у треугольного оболочечного конечного элемента первого порядка?
- № 9 Сколько узлов у балочного конечного элемента второго порядка?
- № 10 Сколько узлов у балочного конечного элемента первого порядка?
- № 11 Сколько суммарно степеней свободы у гексаэдрического твердотельного элемента (прочностной анализ)?
- № 12 Сколько степеней свободы у узла гексаэдрического или тетраэдрического твердотельного элемента (для статических задач механики деформируемого твёрдого тела и простейшей реализации конечного элемента)?
- № 13 Сколько степеней свободы у узла оболочечного трёхмерного элемента (для статических задач механики деформируемого твёрдого тела и простейшей реализации конечного элемента)?
- № 14 Сколько степеней свободы у узла оболочечного трёхмерного балочного (для статических задач механики деформируемого твёрдого тела и простейшей реализации конечного элемента)?
- № 15 Выберите от чего зависит сходимость контакта при моделировании методом конечных элементов

от размера контактирующих конечных элементов  
от выбора, какой контактирующий объект является целевым, а какой  
контактным  
от алгоритма, определяющего силы между контактирующими элементами  
от алгоритма определения элементов, участвующих в контакте

*Вопросы закрытого типа:*

№ 1 Выберите правильное утверждение.

Для разбиения сложной геометрии на гексаэдрические твердотельные элементы необходимо ...

- а) разбить на тетраэдрические конечные элементы, затем разделить их на гексаэдрические элементы
- б) разбить геометрию на простые объёмы, которые могут быть обработаны простыми алгоритмами разбиения (протяжка сетки и т.п.)
- в) использовать преобразование Лапласа
- г) все варианты неправильные, сложную геометрию разбить на гексаэдрическую сетку невозможно.

№ 2 Выберите правильное утверждение.

При моделировании методом конечных элементов, для получения удовлетворительной величины подшага решения в задачах явной динамики важно ...

- а) Задать системе большое демпфирование.
- б) Вручную выставить нужный подшаг.
- в) Делать максимально мелку сетку, особенно в концентраторах.
- г) Стремиться к однородности сетки без сильного искажения формы конечного элемента.

№ 3 Выберите правильное утверждение.

При модальном анализе (Modal Analysis)

- а) Определяются напряжения при динамическом нагружении
- б) Значения критических сил при потере устойчивости
- в) Оптимальные геометрические параметры конструкции
- г) Определяются собственные частоты и формы колебаний

№ 4 Классической задачей контактных взаимодействий, имеющая строгое аналитическое решение для упруго деформирующихся тел (как простых, так и произвольной кривизны) является

- а) задача Гука
- б) задача Герца
- в) задача Навье-Стокса
- г) задача Кирша

№ 5 Выберите правильное утверждение.

При моделировании в ANSYS, тип контакта "Bonded" (он же тип контакта "по умолчанию") ...

- а) не допускает относительного смещения поверхностей в тангенциальном направлении, но допускает их разделение.
- б) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит без учёта сил трения.

в) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит с учётом сил трения.

г) не допускает разделение, но допускает смещение в тангенциальном направлении.

д) связывает узлы контактирующих объектов жёсткой связью.

№ 6

Выберите правильное утверждение.

При моделировании в ANSYS, тип контакта "No Separation" ...

а) не допускает относительного смещения поверхностей в тангенциальном направлении, но допускает их разделение.

б) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит без учёта сил трения.

в) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит с учётом сил трения.

г) не допускает разделение, но допускает смещение в тангенциальном направлении.

д) связывает узлы контактирующих объектов жёсткой связью.

№ 7

Выберите правильное утверждение.

При моделировании в ANSYS, тип контакта "Frictionless" ...

а) не допускает относительного смещения поверхностей в тангенциальном направлении, но допускает их разделение.

б) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит без учёта сил трения.

в) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит с учётом сил трения.

г) не допускает разделение, но допускает смещение в тангенциальном направлении.

д) связывает узлы контактирующих объектов жёсткой связью.

№ 8

Выберите правильное утверждение.

При моделировании в ANSYS, тип контакта "Rough" ...

а) не допускает относительного смещения поверхностей в тангенциальном направлении, но допускает их разделение.

б) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит без учёта сил трения.

в) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит с учётом сил трения.

г) не допускает разделение, но допускает смещение в тангенциальном направлении.

д) связывает узлы контактирующих объектов жёсткой связью.

№ 9

Выберите правильное утверждение.

При моделировании в ANSYS, тип контакта "Frictional" ...

а) не допускает относительного смещения поверхностей в тангенциальном направлении, но допускает их разделение.

б) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит без учёта сил трения.

в) контактные поверхности могут разделяться, при этом смещение в тангенциальном направлении происходит с учётом сил трения.

- г) не допускает разделение, но допускает смещение в тангенциальном направлении.
- № 10 д) связывает узлы контактирующих объектов жёсткой связью.  
Выберите правильное утверждение.
- Определение контакта по Гауссовым точкам (Gauss Points) имеет следующий недостаток:
- а) требует мелкой сетки для достижения сходимости во всех случаях.
- б) требует большой вычислительной сложности относительно других методов.
- в) возможны проблемы с контактом, когда поверхность контактирует углом с ответным телом.
- г) возможны проблемы с контактом, когда плоская поверхность контактирует с другой плоской поверхностью.
- № 11 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактов тел методом конечных элементов, внедрение (Penetration) двух контактирующих тел ...
- а) желательно в начальный момент времени, исчезает в процессе деформирования.
- б) нежелательно в начальный момент времени, возникает в процессе деформирования.
- в) нежелательно в начальный момент времени, не возникает в процессе деформирования.
- г) желательно в начальный момент времени, остаётся в процессе деформирования.
- № 12 Выберите правильное утверждение.
- Гауссовы точки (Gauss Points) это ...
- а) точки, возникающие в месте контакта
- б) точки, расположенные вдоль контактирующих элементов для которых заданы условия контакта
- в) точки, расположенные в узлах элементов для которых заданы условия контакта
- г) точки, в которых возникают максимальные контактные давления
- № 13 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий, для расширенного метода Лагранжа («Augment Lagrange») ...
- а) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости по закону Гука
- б) сила в контакте определяется с использованием дополнительной степени свободы – контактное давление.
- в) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости и контактного давления.
- г) контакт тел реализуется через уравнения связи связывающие степени свободы узлов контактирующих тел.
- № 14 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий, для метода штрафов («Pure Penalty») ...
- а) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости по закону Гука

- б) сила в контакте определяется с использованием дополнительной степени свободы – контактное давление.
- в) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости и контактного давления.
- г) контакт тел реализуется через уравнения связи связывающие степени свободы узлов контактирующих тел.
- № 15 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий, для многоточечных ограничений («MPC») ...
- а) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости по закону Гука
- б) сила в контакте определяется с использованием дополнительной степени свободы – контактное давление.
- в) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости и контактного давления.
- г) контакт тел реализуется через уравнения связи связывающие степени свободы узлов контактирующих тел.
- № 16 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий, для метода Лагранжа («Normal Lagrange») ...
- а) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости по закону Гука
- б) сила в контакте определяется с использованием дополнительной степени свободы – контактное давление.
- в) сила в контакте определяется с использованием контактной жёсткости и контактного давления.
- г) контакт тел реализуется через уравнения связи связывающие степени свободы узлов контактирующих тел.
- № 17 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий методом конечных элементов в ANSYS, тип симметричности контакта «Asymmetric» ...
- а) допускает внедрение и на контактной и на целевой поверхности.
- б) внедрение возможно только на контактной поверхности (target внедряется в contact).
- в) внедрение возможно только на целевой поверхности (contact внедряется в target).
- г) решатель в процессе решения сам определяет какая поверхность является целевой, а какая контактной.
- № 18 Выберите правильное утверждение.
- При моделировании контактных взаимодействий методом конечных элементов в ANSYS, тип симметричности контакта «Auto Asymmetric» ...
- а) допускает внедрение и на контактной и на целевой поверхности.
- б) внедрение возможно только на контактной поверхности (target внедряется в contact).
- в) внедрение возможно только на целевой поверхности (contact внедряется в target).
- г) решатель в процессе решения сам определяет какая поверхность является целевой, а какая контактной.