

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) Юнаков Л. П.
 ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ

Направление/специальность подготовки	24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование и конструкция космических аппаратов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

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	4	144	34	0	0	34	110	0	0	110	диф. зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Климкин Владислав Александрович, ассистент

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ**

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ

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-1 — способность самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-1

знания:

Возможности, преимущества и недостатки методов строительной механики;

Основные принципы формирования расчетных моделей;

умения:

Изложить методы и результаты, связанные с решением прикладных задач МДТТ методом конечных элементов;

Моделировать и решать задачи с использованием прикладных программ МКЭ;

навыки:

Самостоятельно формулировать и решать задачи МДТТ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **КОНСТРУИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 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-1
5	9	Раздел 1. Введение. 1.1 Предмет строительной механики 1.2 Классификация задач строительной механики.	17	2	2	15	10
5	9	Раздел 2. Введение в численные методы. 2.1 Математические основы численных методов 2.2 Численные методы строительной механики.	19	4	4	15	15
5	9	Раздел 3. Метод конечных элементов. 3.1 Метод конечных элементов (МКЭ) 3.2 Линейные интерполяционные полиномы 3.3 Интерполяционные полиномы высокого порядка 3.4 Интерполяционные полиномы для дискретизованной области.	21	6	6	15	15
5	9	Раздел 4. Решение задач МДТТ. 4.1 Применение МКЭ к решению задач МДТТ 4.2 Виды задач теории упругости.	28	8	8	20	15
5	9	Раздел 5. Решение нелинейных и нестационарных задач МДТТ. 5.1 Нелинейные задачи МДТТ 5.2 Задачи переходных динамических процессов 5.3 Другие виды нестационарных задач.	19	4	4	15	15
5	9	Раздел 6. Программная реализация МКЭ. 6.1 Построение конечно-элементных сеток 6.2 Программные комплексы, реализующие МКЭ.	21	6	6	15	15
5	9	Раздел 7. Практические вопросы построения и реализации КЭ моделей. Ознакомление с препроцессорами, адаптация CAD-моделей для последующего расчета в пакете ANSYS.	19	4	4	15	15
Всего за 9 семестр			144	34	34	110	100
Всего по дисциплине			144	34	34	110	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение.	Решение задач МДТТ вычислительными методами строительной механики.	2
2	Раздел 2. Введение в численные методы.	Методы линейной алгебры в расчетах конструкций	2
3		Расчет числовых параметров случайных величин	2
4	Раздел 3. Метод конечных элементов.	Расчет на прочность плоских стержневых систем при помощи МКЭ	2
5		Расчет на прочность плоских, трехмерных и осесимметричных конструкций при помощи МКЭ	4
6	Раздел 4. Решение задач МДТТ.	Решение задач прочности и устойчивости конструкций	8
7	Раздел 5. Решение нелинейных и нестационарных задач МДТТ.	Решение нелинейных задач МДТТ при помощи МКЭ	2
8		Решение задач переходных динамических процессов МДТТ при помощи МКЭ	2
9	Раздел 6. Программная реализация МКЭ.	Расчет на прочность плоских, трехмерных и осесимметричных конструкций при помощи пакета ANSYS.	2
10		Решение нелинейных задач МДТТ при помощи пакета ANSYS.	2
11		Решение задач устойчивости и колебаний конструкций при помощи пакета ANSYS.	2
12	Раздел 7. Практические вопросы построения и реализации КЭ моделей.	Алгоритмы построения КЭ сеток для различных типов задач.	2
13		Адаптация CAD моделей для расчета в пакете ANSYS.	2
Всего за 9 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

--	--	--	--

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение.	Подготовка к опросу	5
2		Подготовка к практическим занятиям	10
3	Раздел 2. Введение в численные методы.	Подготовка к опросу	5
4		Подготовка к практическим занятиям	10
5	Раздел 3. Метод конечных элементов.	Подготовка к практическим занятиям	5
6		Выполнение домашнего задания №1	10
7	Раздел 4. Решение задач МДТТ.	Подготовка к практическим занятиям10	8
8		Подготовка к опросу	12
9	Раздел 5. Решение нелинейных и нестационарных задач МДТТ.	Подготовка к практическим занятиям	10
10		Подготовка к опросу	5
11	Раздел 6. Программная реализация МКЭ.	Подготовка к практическим занятиям	5
12		Выполнение домашнего задания №2	10
13	Раздел 7. Практические вопросы построения и реализации КЭ моделей.	Подготовка к практическим занятиям	10
14		Подготовка к опросу	5
Всего за 9 семестр			110

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					ОС	ДР			ДЗ	ДР		ОС			ДЗ	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ОС – устный опрос студентов;
- ДЗ – домашнее задание;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- устный опрос студентов;
- домашнее задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика. СПб.: Лань, 2010, эл. рес.
2. В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: Изд-во СамГТУ, 2013, эл. рес.
3. Л. И. Балабух, Н. А. Алфутков, В. И. Усюкин. . Строительная механика ракет. М.: Высш. шк., 1984, 46 экз.
4. Н. Н. Шапошников, Р. Е. Кристалинский, А. В. Дарков. . Строительная механика. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера. М.: УРСС, 2003, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://www.biblio-online.ru> — Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru/> — 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»;
3. <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 - 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. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced.

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. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced.

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 **РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-1 способность самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с программными пакетами для численного решения инженерных задач.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- устный опрос студентов;
- домашнее задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**110 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 110 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.
Раздел 1. Введение.		
Подготовка к опросу	Л. И. Балабух, Н. А. Алфут, В. И. Усюкин. . Строительная механика ракет: М.: Высш. шк., 1984 (1) Н. Н. Шапошников, Р. Е. Кристалинский, А. В. Дарков. . Строительная механика: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1,2)	5
Подготовка к практическим занятиям		10
Итого по разделу 1		15
Раздел 2. Введение в численные методы.		
Подготовка к опросу	А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика: СПб.: Лань, 2010 (13)	5
Подготовка к практическим занятиям		10
Итого по разделу 2		15
Раздел 3. Метод конечных элементов.		
Подготовка к практическим занятиям	А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика: СПб.: Лань, 2010 (11)	5
Выполнение домашнего задания №1		10
Итого по разделу 3		15
Раздел 4. Решение задач МДТТ.		
Подготовка к практическим занятиям10	А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика: СПб.: Лань, 2010 (11)	8
Подготовка к опросу		12
Итого по разделу 4		20
Раздел 5. Решение нелинейных и нестационарных задач МДТТ.		
Подготовка к практическим занятиям	А. В. Дарков, В. А. Шапошников. . Строительная механика: СПб.: Лань, 2010 (10,12)	10
Подготовка к опросу		5
Итого по разделу 5		15
Раздел 6. Программная реализация МКЭ.		
Подготовка к практическим занятиям	А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. . ANSYS в руках инженера: М.: УРСС, 2003 (Часть 1, главы 1,2; Часть 2, глава 1)	5
Выполнение домашнего задания №2		10

Итого по разделу 6		15
Раздел 7. Практические вопросы построения и реализации КЭ моделей.		
Подготовка к практическим занятиям	В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. . Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Самара: Изд-во СамГТУ, 2013 (2-6)	10
Подготовка к опросу		5
Итого по разделу 7		15

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- устный опрос студентов;
- домашнее 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.

Устный опрос студентов

Обучающемуся задаются вопросы по учебным материалам соответствующих разделов программы дисциплины. Перечень вопросов представлен в состав УМК дисциплины.

"Сдано" - получен верный ответ на вопрос преподавателя.

"Не сдано" - отсутствие верного ответа на вопрос преподавателя.

Домашнее задание

Рабочей программой предусмотрено 2 домашних задания по разделам дисциплины. Комплект домашних заданий входит в состав УМК дисциплины.

Домашнее задание считается принятым при выполнении всех следующих критериев:

- правильность результатов расчета;
- правильность выполнения графической части задания;
- правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов);
- допускаются незначительные исправления в отчете.

Домашнее задание не может быть принято и подлежит доработке в случае:

- ошибок в расчетах и при оформлении графического материала;
- небрежного и безграмотного оформления отчета.

При сдаче домашнего задания предусматриваются ответы студента на вопросы преподавателя. Критерии оценивания:

- «отлично», если студент дал полный ответ на 2 основных вопроса и возможные дополнительные вопросы;
- «хорошо», если студент ответил на 2 основных вопроса с незначительными погрешностями и дал неполные ответы на дополнительные вопросы;
- «удовлетворительно», если студент дал неполные ответы на 2 основных вопроса и не ответил на отдельные дополнительные вопросы;
- «неудовлетворительно», если студент не ответил на три вопроса преподавателя. Работа подлежит повторной сдаче.

Дифференцированный зачет

Дифференцированный зачет оформляется по результатам выполнения предусмотренных рабочей программой контрольных мероприятий.

Оценка за дифференцированный зачет определяется на основе среднего арифметического оценок, полученных при сдаче домашних заданий.

Паспорт фонда оценочных средств

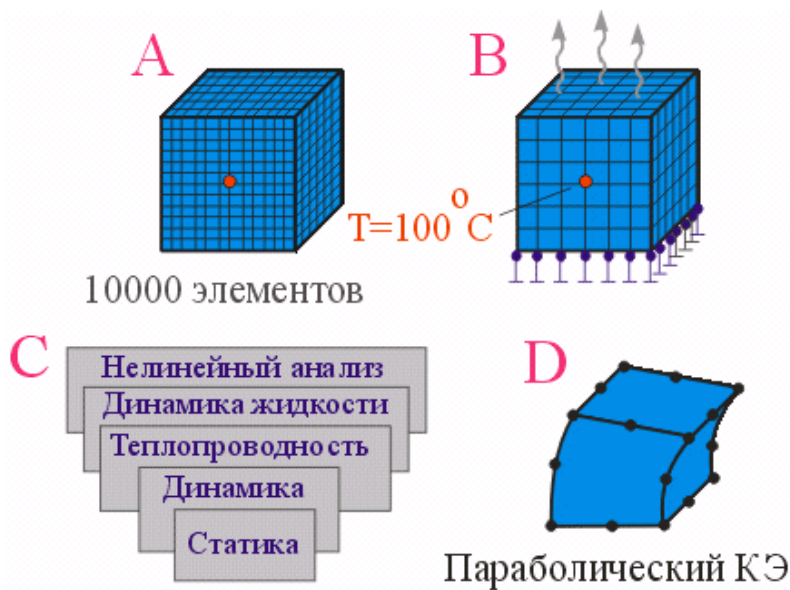
КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ОПК-1	
5	9	Раздел 1. Введение.	17	2	2	15	10	Устный опрос студентов
5	9	Раздел 2. Введение в численные методы.	19	4	4	15	15	Устный опрос студентов
5	9	Раздел 3. Метод конечных элементов.	21	6	6	15	15	Домашнее задание
5	9	Раздел 4. Решение задач МДТТ.	28	8	8	20	15	Устный опрос студентов
5	9	Раздел 5. Решение нелинейных и нестационарных задач МДТТ.	19	4	4	15	15	Устный опрос студентов
5	9	Раздел 6. Программная реализация МКЭ.	21	6	6	15	15	Домашнее задание
5	9	Раздел 7. Практические вопросы построения и реализации КЭ моделей.	19	4	4	15	15	Устный опрос студентов
Всего за 9 семестр			144	34	34	110	100	
Всего по дисциплине			144	34	34	110	100	

Критерии оценивания

ОПК-1

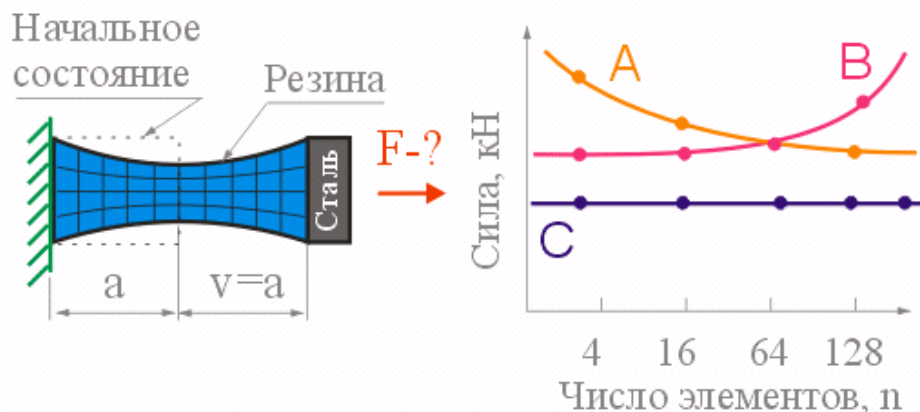
Вопросы открытого типа:

- № 1 Что изучает строительная механика
- № 2 Определение математической модели
- № 3 Как происходит переход от реального объекта к расчетной схеме
- № 4 Численные методы линейной алгебры
- № 5 Метод конечных разностей
- № 6 Метод конечных элементов
- № 7 Виды метода конечных элементов
- № 8 Опишите последовательность действий при использовании МКЭ
- № 9 Преимущества и недостатки МКЭ
- № 10 Чем определяется успех анализа методом конечных элементов



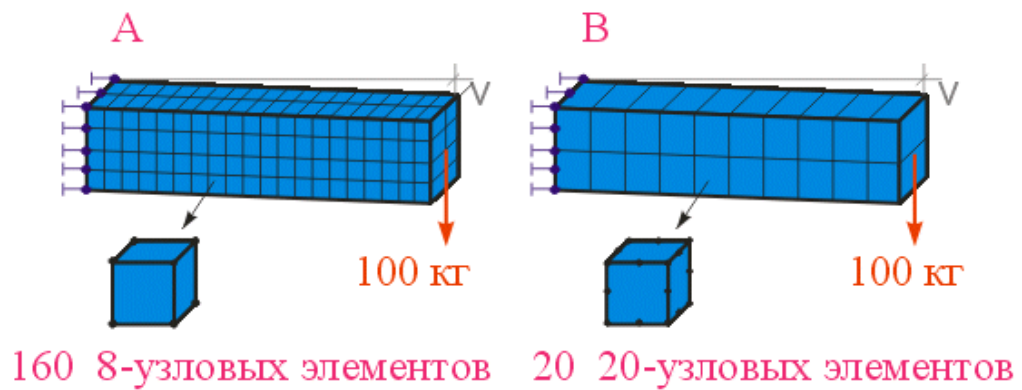
Вопросы закрытого типа:

- № 1 Как называются характерные точки конечного элемента, определяющие его конфигурацию и перемещения?
- № 2 Жестко защемленный правый конец резиновой пластины был перемещен на величину длины пластины. Задача была решена нелинейным конечно-элементным методом. Рассчитывалась величина силы.
Как изменяется вычисляемое значение в зависимости от количества конечных элементов в модели?



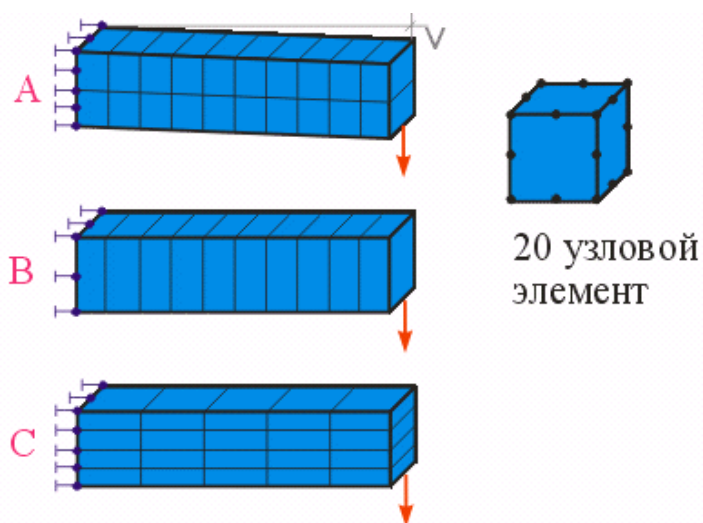
- № 3 Консольная балка загружена вертикальной силой 100 кг на правом конце. Задача имеет точное решение в теории упругости. Эта же задача была решена методом конечных элементов с 8-узловыми и 20-узловыми элементами.

Для какого случая точность максимальная?

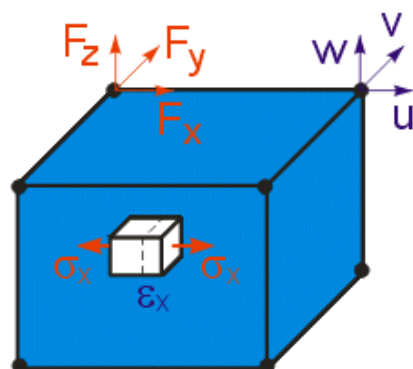


№ 4 Прогиб балки v может быть вычислен с помощью теории упругости и конечно-элементным анализом.

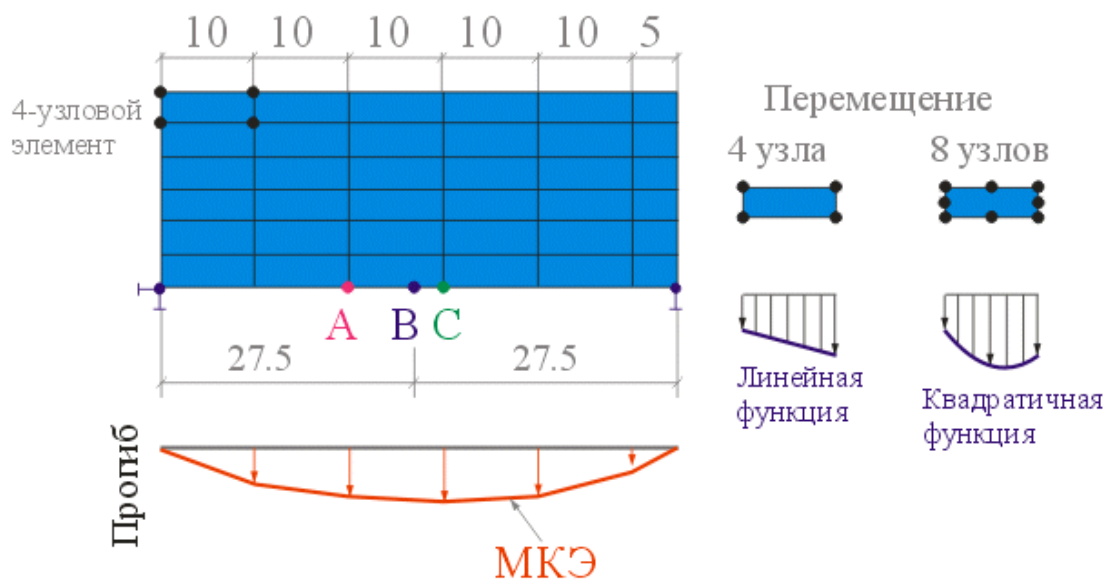
Выберите лучшую сетку для конечно-элементного анализа.



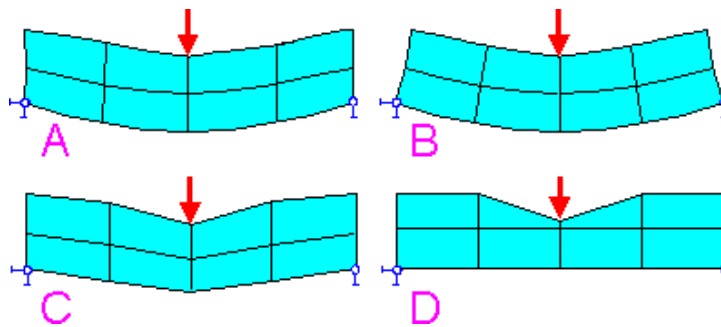
№ 5 При использовании метода конечных элементов точность каких параметров обычно выше для рисунка ниже?



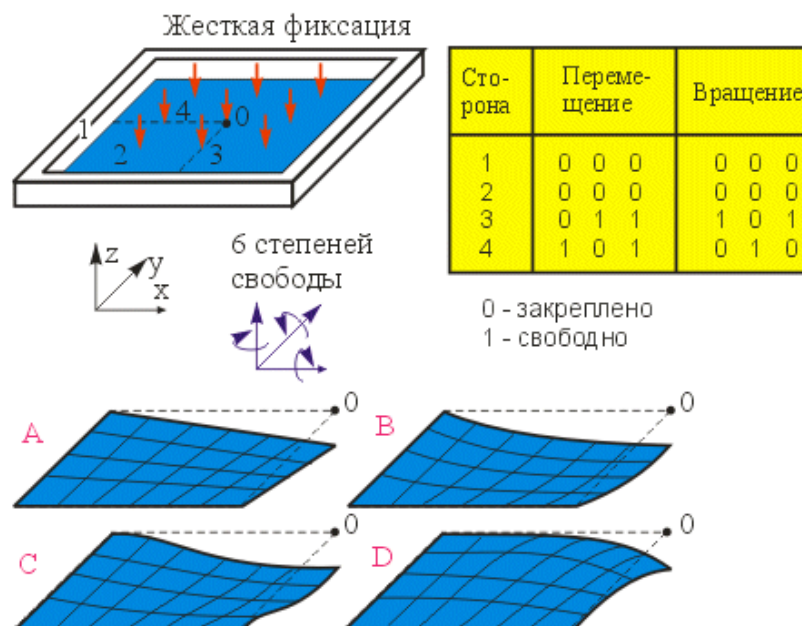
№ 6 Балка загружена своим собственным весом (масса распределена в узлах). Перемещения в узлах и внутри элементов были получены методом конечных элементов. В какой точке прогиб максимальный?



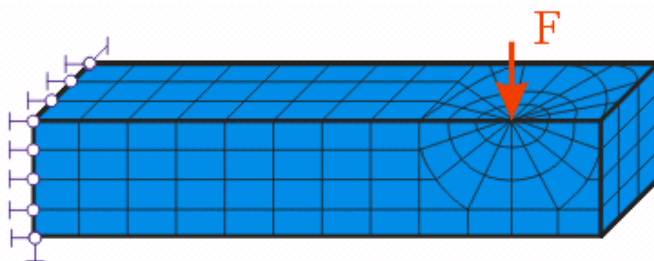
№ 7 Представлена плоскостная 8-узловая конечно-элементная модель. Какова деформированная форма балки?



№ 8 Жестко зафиксированная тонкостенная плита была загружена распределенной нагрузкой. Какая деформированная форма ожидается для 1/4 части плиты?



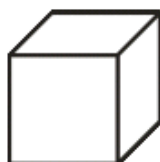
№ 9 Всегда ли необходимо иметь плотную сетку в зонах, где приложена сила?



№ 10 Какое минимальное число четырехгранных элементов могут сформировать куб?



Четырехгранный
элемент (4 узла)



Куб