


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Утверждено:  
на заседании кафедры ТМО  
протокол от 30 августа 2021 г. №1  
И.о. зав. кафедрой

 /Саитов Р.И.

Согласовано:  
Декан Инженерного факультета

 / Тулькубаев Р.З.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Метод конечных элементов

**Вариативная часть – Б1.В.1.06**

**программа бакалавриата**

**Направление подготовки**

15.03.02 – Технологические машины и оборудование

**Направленность (профиль) подготовки**

Инжиниринг технологического оборудования

**Квалификация - бакалавр**

**Форма обучения**

Очная, очно-заочная, заочная

Для приема: 2021

Уфа – 2021 г.

Составитель: Старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование» Лобанов М.А.

Ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование» Гулемова Л.Р.

Рабочая программа дисциплины «Метод конечных элементов» утверждена на заседании кафедры:  
протокол от 30 июня 2021 г. №1

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	5
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	6
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	6
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	6
4.3. Рейтинг-план дисциплины	23
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	24
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	24
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	24
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	25
Приложение 1	27
Приложение 2	33

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать: -теоретическое исследование процессов теплообмена и гидродинамики сплошных сред с помощью численного моделирования;	ПК-15 - умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин (далее ПК-15)	
	-теоретическое исследование процессов деформации твердых объектов с помощью численного моделирования (MathCad);	ПК-15	
	-требования межгосударственных и государственных стандартов, стандартов организаций по критериям надежности и работоспособности аппаратуры (Информационная сеть «Техэксперт»).	ПК-15	
Умения	Уметь: - пользоваться справочными системами и компьютерной техникой для выполнения численного моделирования (Информационная сеть «Техэксперт»);	ПК-15	
	- пользоваться системами автоматизированного проектирования (FreeCAD, Компас);	ПК-15	
	- пользоваться инженерным программным обеспечением для расчета методом конечных элементов (OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys).	ПК-15	
Владения (навыки / опыт деятельности)	Способность: - способностью решать задачи по проектированию и выполнять поверочные расчеты технологического оборудования (FreeCAD, Компас, OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys);	ПК-15	
	-навыками анализа напряженно-деформированного состояния (StressVision)	ПК-15	
	- навыками работы в Google Drive.	ПК-15	

## **2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Метод конечных элементов» относится к дисциплинам вариативной части Б1.В.1.06 согласно рабочему учебному плану.

Дисциплина изучается

- у очной формы обучения на 3 курсе в 6 семестре;
- у заочной формы обучения на 4 курсе в летней сессии.

Цели изучения дисциплины: для овладения указанными видами профессиональной (трудовой) деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения дисциплины должен:

- получить знания: по условиям применения численного метода в решении прикладных задач, критериям надежности и работоспособности аппаратуры;
- приобрести умения: выполнения поверочных расчетов на теплопередачу и прочность машин и аппаратов с использованием автоматизированных систем технической и технологической подготовки производства современного оборудования;
- освоить практический опыт: проектирования технологического оборудования с использованием численного метода или автоматизированных систем, поддерживающих метод конечных элементов при проектировании технологического оборудования. Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:
  - Теплотехника;
  - Механика жидкости и газа;
  - Сопротивление материалов.

Рабочая программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» в соответствии с ФГОС ВО №1170 от 20 октября 2015 г.

Освоение дисциплины «Метод конечных элементов» является основополагающим для изучения таких базовых для инженера дисциплин, как:

- Моделирование и оптимизация технологических процессов;
- Моделирование технологических процессов.

## **3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)**

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

**ПК-15 – умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин**

Этап, уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретическое исследование процессов теплообмена и гидродинамики сплошных сред с помощью численного моделирования;</li> <li>- теоретическое исследование процессов деформации твердых объектов с помощью численного моделирования (MathCad);</li> <li>- требования межгосударственных и государственных стандартов, стандартов организаций по критериям надежности и работоспособности аппаратуры (Информационная сеть «Техэксперт»).</li> </ul>	Не имеет базовых знаний	Фрагментировано знает основы численного моделирования	Знает основные принципы использования численного моделирования в расчете оборудования и критерии надежности и работоспособности	Уверенно применяет теоретические знания на практике для решения прикладных задач
Второй этап	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться справочными системами и компьютерной техникой для выполнения численного моделирования (Информационная сеть «Техэксперт»);</li> <li>- пользоваться системами автоматизированного проектирования (FreeCAD, Компас);</li> <li>- пользоваться инженерным программным обеспечением для расчета методом конечных элементов (OpenFOAM, APM Win Machine, Ansys).</li> </ul>	Не умеет	Умеет использовать базовые функции метода конечных элементов в расчете простых объектов	Умеет использовать базовые функции метода конечных элементов в расчете оборудования	Умеет использовать базовые и расширенные функции метода конечных элементов в расчете оборудования
Третий этап	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью решать задачи по проектированию и выполнять поверочные расчеты технологического оборудования (FreeCAD, Компас, OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys);</li> <li>- навыками анализа напряженно-деформированного состояния (StressVision);</li> <li>- навыками работы в Google Drive</li> </ul>	Не владеет базовыми навыками расчета и анализа	Владеет базовыми навыками расчета машин и аппаратов в САПР.	Способен выполнять поверочные расчеты при проектировании оборудования в САПР.	Способен проектировать технологическое оборудование в современных САПР.

### 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	- знания теоретических исследований процессов теплообмена и гидродинамики сплошных сред с помощью численного моделирования;	ПК-15	Тест

	- знания теоретических исследований процессов деформации твердых объектов с помощью численного моделирования (MathCad);	ПК-15	Тест
	- требования межгосударственных и государственных стандартов, стандартов организаций по критериям надежности и работоспособности аппаратуры (Информационная сеть «Техэксперт»).	ПК-15	Круглый стол
2-й этап Умения	- умение пользоваться справочными системами и компьютерной техникой для выполнения численного моделирования (Информационная сеть «Техэксперт»);	ПК-15	Практические задачи
	- умение пользоваться системами автоматизированного проектирования (FreeCAD, Компас);	ПК-15	Практические задачи
	- умение пользоваться инженерным программным обеспечением для расчета методом конечных элементов (OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys).	ПК-15	Практические задачи
3-й этап Владеть навыками	- способность решать задачи по проектированию и выполнять поверочные расчеты технологического оборудования (FreeCAD, Компас, OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys)	ПК-15	Контрольная работа
	- навыками анализа напряженно-деформированного состояния (StressVision)	ПК-15	Лабораторная работа
	- навыками работы в Google Drive	ПК-15	Контрольная работа

#### 4.2.1. Вопросы для экзамена

Вопросы к экзамену оформлены в виде экзаменационных билетов. Каждый экзаменационный билет состоит из 2 вопросов и 1 задачи.

*Вопросы для экзамена:*

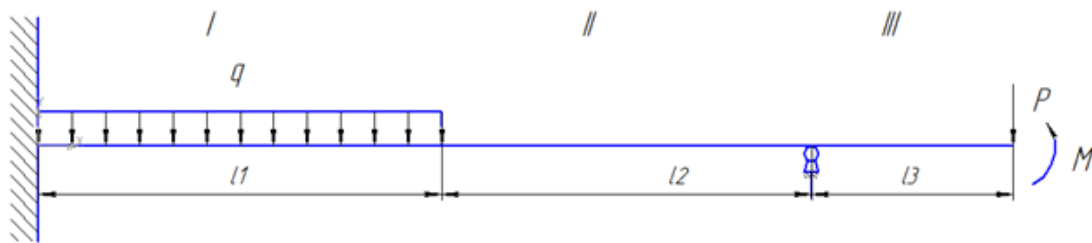
1. Основная концепция метода конечных элементов
2. Типы конечных элементов в МКЭ
3. Метод конечных разностей.
4. Линейные задачи теплопроводности.
5. Одномерное уравнение теплопроводности.
6. Что такое термодинамическое равновесие?
7. Нелинейная задача теплопроводности.
8. Что такое удельная теплоемкость вещества?
9. Что такое конвекция? Опишите естественную и принудительную конвекцию.
10. Что такое энтальпия? Что такое энтропия?
11. Формула нахождения гидравлических сопротивлений.
12. Влияние формы объекта на обтекаемый поток.
13. Твердость материала.
14. Прочность материала.
15. Упругость материала.
16. Пластичность материала.

17. Метод конечных элементов при расчете горизонтальной балки.
18. Метод конечных элементов при расчете вертикальной стойки.
19. Метод конечных элементов при расчете ребра жесткости.
20. Метод конечных элементов при расчете цилиндра.
21. Метод конечных элементов при изменении температуры с течением времени.
21. Влияние и учет внешних факторов на решение численного моделирования.
23. Что понимается под линейным напряженным состоянием?
24. Что понимается под плоским напряженным состоянием?
25. Что понимается под объемным напряженным состоянием?
26. Что называется предельным опасным состоянием материала? Чем характеризуется наступление опасного состояния для пластичных и хрупких материалов?
27. Назовите теории прочности. Какая теория прочности используется на практике и упоминается в нормативно-технической документации?
28. Чем характеризуется и как изображается напряженное состояние в точке?
29. В каких случаях возникают предельные напряженные состояния у пластичных и хрупких материалов?
30. Какой случай напряженного состояния называется чистым сдвигом и каковы его особенности?

*Задачи для экзамена:*

Расчет балки. Исходные данные:

$E=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;  $I=2000 \text{ см}^2$ ;  $l_1=1,3 \text{ м}$ ;  $l_2=1,2 \text{ м}$ ;  $l_3=0,8 \text{ м}$ ;  $P=12 \text{ кН}$ ;  $q=9 \text{ кН/м}$ ;  $M=26 \text{ кН*м}$



1) Составим конечно-элементную расчетную схему, для чего сделаем преобразования исходных данных:

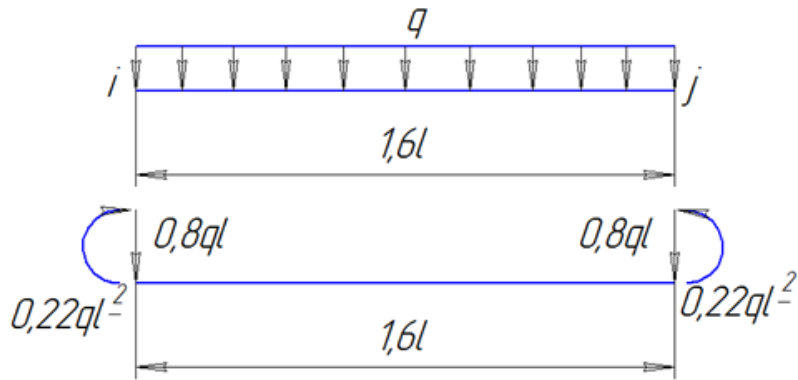
$$l_3=l=0,8 \text{ м}; l_2=1,5l; l_1=1,6l;$$

$$P= k_1 q l = 1,7 q l; k_1 = P / q l = 1,7;$$

$$M= k_2 q l^2 = 4,5 q l^2; k_2 = M / q l^2 = 4,5;$$

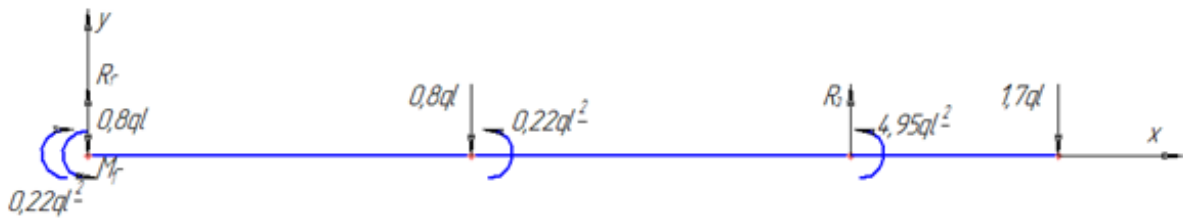
Поскольку МКЭ не предусматривает работу с распределенными нагрузками, все нагрузки должны быть сосредоточены в узлах, распределенную нагрузку на правом участке заменяют по следующему правилу: разбиваем распределенную нагрузку, заменяя силами:  $q l / 2$  и 2 моментами  $q l^2 / 12$ .





Реакции в опорах заменим неизвестными  $R_1$  и  $R_3$ ; направить их можно произвольно, но лучше в положительном направлении в выбранной вертикальной оси. Балку разобьем на I, II, III.

Конечно-элементная расчетная схема:



2) Составление глобальной матрицы жесткости

$$K \cdot U = F; \quad (3)$$

$K$ -глобальная матрица жесткости;

$U$ -вектор-столбец перемещений узлов;

$F$ -вектор-столбец нагрузки;

При составлении  $U$  следует иметь в виду, что при изгибе рассматриваются 2 перемещения каждого сечения балки, следовательно каждого узла. Глобальная матрица  $K$  представляют совокупность матриц жесткости отдельных конечных элементов. Матрица жесткости любого конечного элемента при изгибе имеет размерность  $4 \times 4$ , поскольку каждый конечный элемент содержит 2 узла, а узел имеет 2 возможных перемещения (2 степени свободы: прогиб и угол поворота).

Матрица жесткости каждого конечного элемента:

$$k_i = \frac{EI_{xi}}{l_i^3} \begin{vmatrix} 12 & 6l_i & -12 & 6l_i \\ 6l_i & 4l_i^2 & -6l_i & 2l_i^2 \\ -12 & -6l_i & 12 & -6l_i \\ 6l_i & 2l_i^2 & -6l_i & 4l_i^2 \end{vmatrix};$$

При составлении глобальной матрицы жесткости блоки, имеющие одинаковые индексы складывают, используя правило сложения матриц.

$$1) k_1 = \frac{EI}{l^3} \begin{vmatrix} 3 & 2,4l & -3 & 2,4l \\ 2,4l & 2,5l^2 & -2,4l & 1,3l^2 \\ -3 & -2,4l & 3 & -2,4l \\ 2,4l & 1,3l^2 & -2,4l & 2,5l^2 \end{vmatrix};$$

$$2) k_2 = \frac{EI}{l^3} \begin{vmatrix} 3,5 & 2,6l & -3,5 & 2,6l \\ 2,6l & 2,6l^2 & -2,6l & 1,3l^2 \\ -3,5 & -2,6l & 3,5 & -2,6l \\ 2,6l & 1,3l^2 & -2,6l & 2,6l^2 \end{vmatrix};$$

$$3) k_3 = \frac{EI}{l^3} \begin{vmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{vmatrix};$$

Глобальная матрица жесткости должна иметь размерность 8x8, должна быть симметрична относительно главной диагонали. Каждая ячейка получается сложением соответствующих ячеек матрицы жесткости конечных элементов.

Получаем:

$$\frac{EI}{l^3} \begin{vmatrix} 3 & 2,4l & -3 & 2,4l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2,4l & 2,5l^2 & -2,4l & 1,3l^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & -2,4l & 6,5 & 0,2l & -3,5 & 2,6l & 0 & 0 \\ 2,4l & 1,3l^2 & 0,2l & 5,1l^2 & -2,6l & 1,3l^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3,5 & -2,6l & 15,5 & 3,4l & -12 & 6l \\ 0 & 0 & 2,6l & 1,3l^2 & 3,4l & 6,6l^2 & -6l & 2l^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12 & -6l & 12 & -6l \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \theta_2 \\ y_3 \\ \theta_3 \\ y_4 \\ \theta_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R1 - 0,8ql \\ M1 - 0,22ql^2 \\ -0,8ql \\ 0,22ql^2 \\ R3 \\ 4,95ql^2 \\ -1,7ql \\ 0 \end{vmatrix}; (4)$$

Матрично-векторное уравнение (4) может быть преобразовано в систему восьми линейных уравнений с восемью неизвестными:  $\theta_2, y_3, \theta_3, y_4, \theta_4, R1, M1, R3$ .

Для определения неизвестных перемещений узлов в системе уравнений (4) следует вычеркнуть строки и столбцы соответствующие нулевым перемещениям, то есть 1,2,3 строки и 1,2,3 столбцы. Тогда получим:

$$\frac{EI}{l^3} \begin{vmatrix} 5,1l^2 & -2,6l & 1,3l^2 & 0 & 0 \\ -2,6l & 15,5 & 3,4l & -12 & 6l \\ 1,3l & 3,4l & 6,6l^2 & -6l & 2l^2 \\ 0 & -12 & -6l & 12 & -6l \\ 0 & 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} \theta_2 \\ y_3 \\ \theta_3 \\ y_4 \\ \theta_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,22ql^2 \\ R_3 \\ 4,95ql^2 \\ -1,7ql \\ 0 \end{vmatrix}; (5)$$

Образец экзаменационного билета:

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»
Дисциплина: Метод конечных элементов Направление подготовки: 15.03.02 – Технологические машины и оборудование Профиль: «Инжиниринг технологического оборудования» 2020-2021 уч.год
<b>Экзаменационный билет №4</b>
1. Нелинейная задача теплопроводности. 2. Метод конечных элементов при расчете цилиндра. 3. Определите нагрузку и перемещения узлов балки методом конечных элементов.
Утверждено на заседании кафедры от _____ г., протокол № _____ (дата)
Заведующий кафедрой _____ (подпись) (Ф.И.О.)

Перевод оценки из 100-балльной в четырех балльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

Подробности см. в приложении 2.

Критерии оценки (в баллах):

Баллы	Описание
25-30	выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок
17-24	выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки
10-16	выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки

1-10	<p>выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов.</p> <p>Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос</p>
------	--

#### 4.2.2. Фонд тестовых заданий

1. Какая теория прочности для пластичных материалов связывает разность главных механических напряжений и предел текучести материала?

- а) 1
- б) 2
- в) 3
- г) 4
- д) 5

2. Верно ли утверждение: Главные напряжения являются нормальными и расположены параллельно к сечению элемента?

- а) Верно
- б) Неверно

3. Выберите соответствие вид напряженного состояния - значение главных напряжений.

Линейное (одноосное)

Плоское (двухосное)

Объемное (трехосное)

а)  $\sigma_i \neq 0, \sigma_j \neq 0, \sigma_k \neq 0$

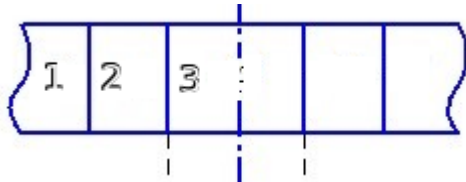
б)  $\sigma_i \neq 0, \sigma_j \neq 0, \sigma_k = 0$

в)  $\sigma_i \neq 0, \sigma_j = \sigma_k = 0$

4. Какое слово пропущено? \_\_\_\_\_ это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

- а) Безотказность
- б) Долговечность
- в) Срок службы

5. Как называется зона обозначенная 2 в данной схеме?



- а) Основной металл
- б) Зона термического влияния
- в) Сварной шов

Баллы	Описание
5	выставляется студенту за все правильные ответы

4-1	выставляется студенту в случае, если студент сделал 1-4 ошибок в тесте
0	выставляется студенту, если он не прошел тест/ ответил на все вопросы неверно

#### 4.2.3. Перечень дискуссионных тем для проведения круглого стола

1. Преимущества и недостатки метода конечных элементов для инженерного анализа процесса передачи тепловой энергии.
2. Преимущества и недостатки метода конечных элементов для инженерного анализа гидрогазодинамических процессов.
3. Применение метода конечных элементов в различных сферах промышленности. Особенности каждой сферы производства.
4. Матрица жесткости
5. Условие прочности для упругих материалов
6. Виды напряженного состояния
7. Остаточные напряжения
8. Твердость материала
9. Упругость материала
10. Пластичность материала

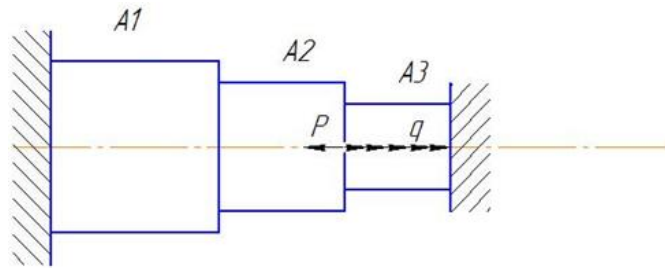
Критерии оценки (в баллах):

Баллы	Описание
10-9	выставляется студенту за полный и развернутый ответ на круглом столе с аргументацией своей точки зрения на заданную тему и при верно данных ответах на дополнительные вопросы
8-6	выставляется студенту в случае, если студент сделал полный и развернутый ответ на круглом столе на заданную тему и не ответил на 1-2 дополнительных вопроса
5-3	выставляется студенту в случае, если студент дал неполный ответ без аргументации своей точки зрения, но при этом ответил на все дополнительные вопросы
1-2	выставляется студенту в случае, если студент дал неполный ответ без аргументации своей точки зрения и не ответил ни на один дополнительный вопрос
0	выставляется студенту, если им не был сделан доклад на заданную тему

#### 4.2.4. Фонд практических задач

##### Задача №1. Расчет стержня на растяжение сжатие

Исходные данные:  $E=2 \cdot 10^5$  МПа;  $A_1=48\text{см}^2$ ;  $A_2=15\text{см}^2$ ;  $A_3=4\text{см}^2$ ;  $l_1=4\text{м}$ ;  $l_2=4\text{м}$ ;  $l_3=3,5\text{м}$ ;  $P=16\text{кН}$ ;  $q=2\text{кН/м}$



### 1) Составим конечно-элементную расчетную схему.

Для того, чтобы было удобно пользоваться сделаем преобразования исходных данных. Примем  $l_3=3,5m=l$ , тогда  $l_2=1,1l$ ,  $l_1=1,1l$

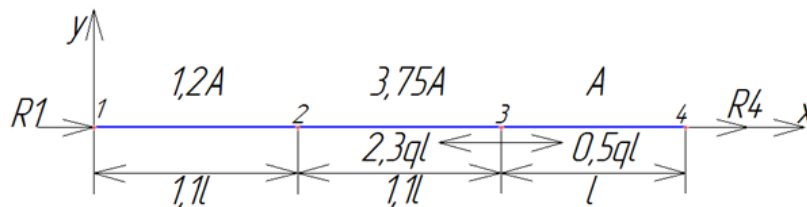
$$A_3=4cm^2=A, \text{ тогда } A_1=12A; A_2=3,75A$$

Пусть стержень имеет 3 конечных элемента. В начале и конце каждого конечного элемента узлы(1,2,3,4).

$$\text{Выразим } P \text{ через } ql: P=cql=2,3ql$$

$$c=P/ql=16/(2*3,5)=2,3$$

Распределенную нагрузку интенсивности  $q$ , действующая на 3 элемент и величина которой  $ql$ , разобьем поровну между 3 и 4 узлами



### 2) Общий вид уравнения равновесия в матрично-векторном виде выглядит:

$$K*U=F;$$

где  $K$ -глобальная матрица жесткости заданной расчетной схемы

$U$ -вектор-столбец перемещений узлов

$F$ -вектор-столбец нагрузки узлов

$$F = \begin{bmatrix} R1 \\ 0 \\ -1,8ql \\ R4 + 0,5ql \end{bmatrix};$$

Для того, чтобы составить матрицу жесткости заданной расчетной схемы, сначала составляют матрицы жесткости каждого конечного элемента.

$$k_1 = E*1,2A*(1,1l)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = E*A*I^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$k_2 = E*3,75A*(1,1l)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = E*A*I^{-1} \begin{bmatrix} 3,4 & -3,4 \\ -3,4 & 3,4 \end{bmatrix};$$

$$k_3 = E*A*I^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix};$$

Суммарная матрица жесткости:

$$K = E * A * l^{-1} \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 4,4 & -3,4 & 0 \\ 0 & -3,4 & 4,4 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{vmatrix};$$

Уравнение равновесия в матричном виде:

$$E * A * l^{-1} \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 4,4 & -3,4 & 0 \\ 0 & -3,4 & 4,4 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{vmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ U2 \\ U3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 \\ 0 \\ -1,8ql \\ R4 + 0,5ql \end{bmatrix}; (1)$$

**3) Используя уравнение (1) определим неизвестные перемещения U2 и U3.** Для этого исключим из системы уравнений (1) первое и четвертое уравнения. Тогда получим систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными. В матрично-векторном виде:

$$E * A * l^{-1} \begin{vmatrix} 4,4 & -3,4 \\ -3,4 & 4,4 \end{vmatrix} * \begin{bmatrix} U2 \\ U3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1,8ql \end{bmatrix};$$

При решении данного уравнения воспользуемся методом определителя, в соответствии с которым:

$$x_i = \frac{\delta x_i}{\delta}; \text{ где } x_i \text{ - неизвестная величина}$$

$$\delta = E * A * l^{-1} \begin{vmatrix} 4,4 & -3,4 \\ -3,4 & 4,4 \end{vmatrix} = E * A * l^{-1} (4,4 * 4,4 - 3,4 * 3,4) = 7,8 E * A * l^{-1};$$

$$\delta U2 = \begin{vmatrix} 0 & -3,4ql \\ -1,8ql & 4,4ql \end{vmatrix} = -6,12ql;$$

$$\delta U3 = \begin{vmatrix} 4,4ql & 0 \\ -3,4ql & -1,8ql \end{vmatrix} = -7,92ql;$$

$$U2 = \frac{\delta U2}{\delta} = \frac{-6,12ql * l}{7,8EA} = -0,24 \text{ мм};$$

$$U3 = \frac{\delta U3}{\delta} = \frac{-7,92ql * l}{7,8EA} = -0,31 \text{ мм};$$

Полученный знак – говорит о том, что узел 2 и 3 переместятся влево, то есть в отрицательном направлении оси X.

$$4) E * A * l^{-1} (1 * 0 - 1 * U2 + 0 * U3 + 0) = R1;$$

$$E * A * l^{-1} (0 * 0 + 0 * U2 - 1 * U3 + 1 * 0) = R4 + 0,5ql;$$

$$R1 = (2 * 10^5 * 4 * 10^2 * 0,24) / 3500 = 5485,7;$$

$$R4 = ((2 * 10^5 * 4 * 10^2 + 1,31 / 3500) - ((2 * 3500) / 2)) = 19357;$$

5) Напряжение в сечении:

$$\sigma_k = \frac{E}{l_k} (U_{k+1} - U_k);$$

$$\sigma_I = \frac{E}{l} (U_2 - U_1) = \frac{2 * 10^5}{3500} (-0,24 + 0,31) = 4 \text{ мм};$$

$$\sigma_{II} = \frac{E}{2l} (U_3 - U_2) = \frac{2 * 10^5}{2 * 3500} (-0,31 + 0,24) = -2 \text{ мм};$$

$$\sigma_{III} = \frac{E}{3l} (U_4 - U_3) = \frac{2 * 10^5}{3 * 3500} (0 + 0,31) = 5,9 \text{ мм};$$

#### 4.2.5. Задание для контрольной работы

**Тема:** Прочностной расчет фланцевого соединения

Примеры вариантов задания:

Таблица 1 – Варианты заданий

№	ФИО	Внутренний диаметр кожуха, мм	Наружный диаметр штуцера, мм	Материал	Давление, МПа
1.		400	40	Ст20	2
2.		400	50	Ст3	2
3.		500	50	Ст40	1
4.		500	80	09Г2С	2
5.		500	100	16ГС	2.5
6.		600	100	12Х10Н10Т	2
7.		600	80	Ст20	1.6
8.		700	80	Ст3	1.5
9.		800	100	Ст40	1
10.		800	150	09Г2С	3



11.		1000	150	16ГC	3
12.		1200	150	12X10H10T	4

13.		1400	250	Ст20	2
14.		400	25	Ст3	1
15.		400	32	Ст40	0.5
16.		500	40	09Г2C	1
17.		500	150	16ГC	0.5
18.		600	150	12X10H10T	1
19.		600	40	Ст20	1.5
20.		600	50	Ст3	2
21.		700	50	Ст40	5
22.		800	50	09Г2C	2
23.		800	200	16ГC	5
24.		1000	200	12X10H10T	0.5
25.		1200	300	Ст20	1
26.		1400	200	Ст3	2
27.		1400	300	Ст40	2
28.		1600	350	09Г2C	2.5

29.		1600	400	16ГС	2
30.		800	80	12Х10Н10Т	4.5
31.		1000	200	Ст40	3.5
32.		1200	250	09Г2С	3.5
33.		400	32	16ГС	5
34.		1200	300	12Х10Н10Т	6

Структура отчета контрольной работы:

1. Титульный лист (1 стр)
2. Лист задания (1 стр)
3. Содержание (1 стр)
4. Введение (1 стр)
5. Литературный обзор (5-6 стр)
6. Основной раздел (5-10 стр)
7. Заключение (1 стр)
8. Список использованных источников (1 стр)

Один из примеров результата работы:

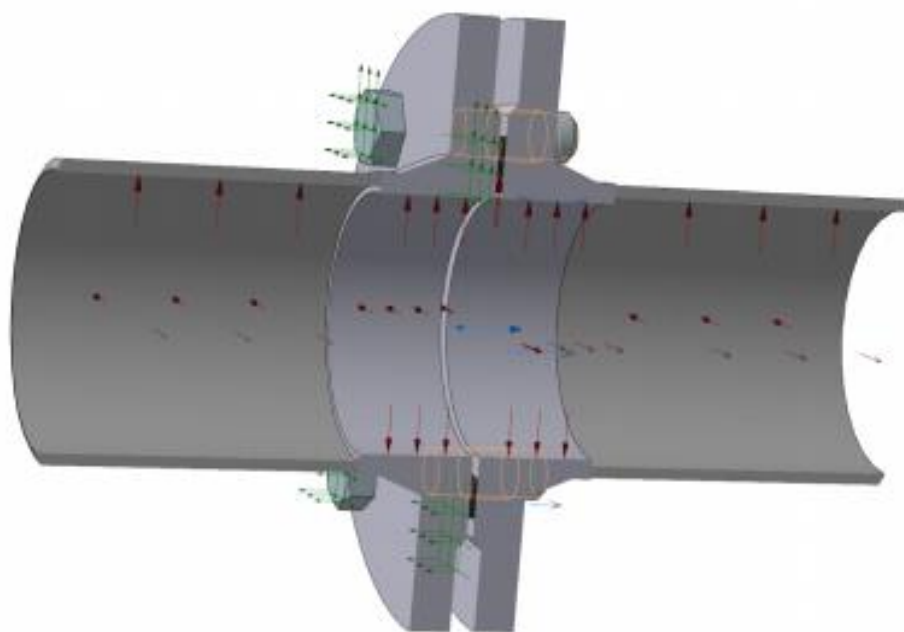


Рисунок 1 – Указание нагрузок

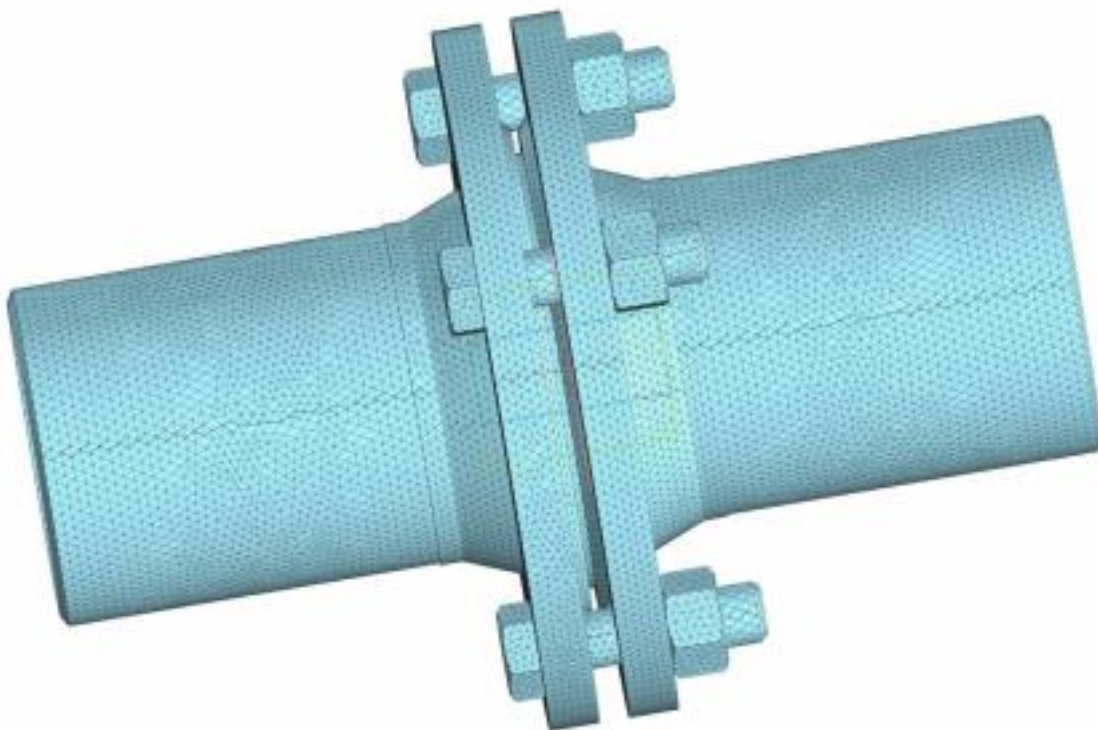


Рисунок 2 – Разбиение модели на конечно-элементную сетку

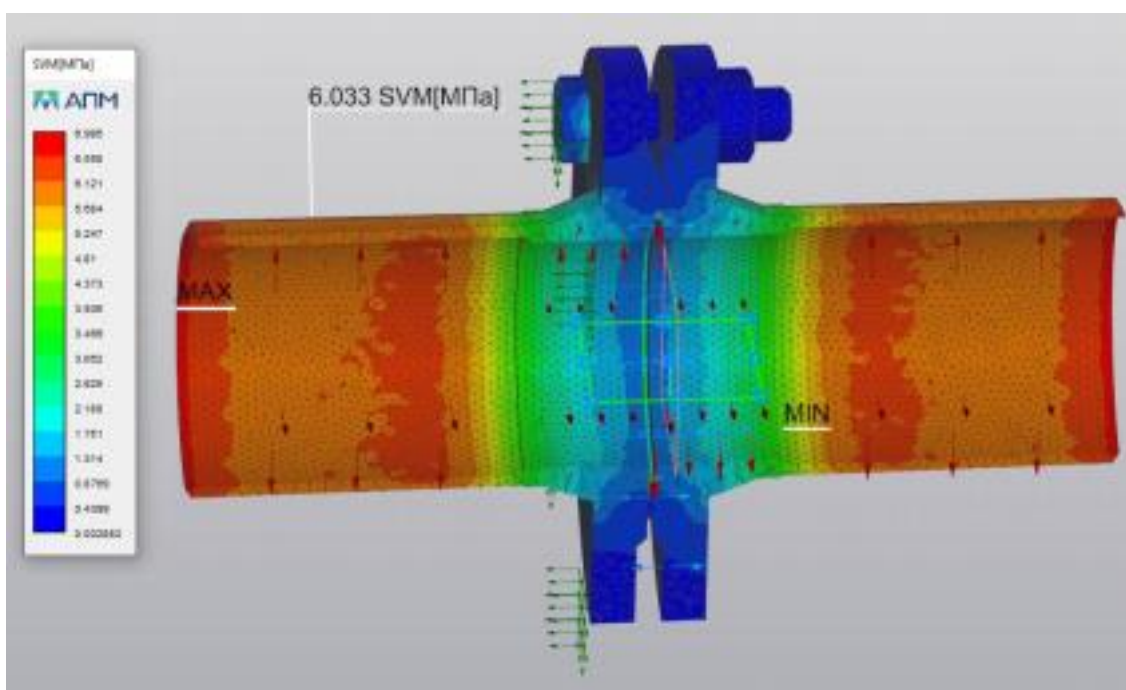


Рисунок 3 – Градиент механических напряжений в объекте исследования

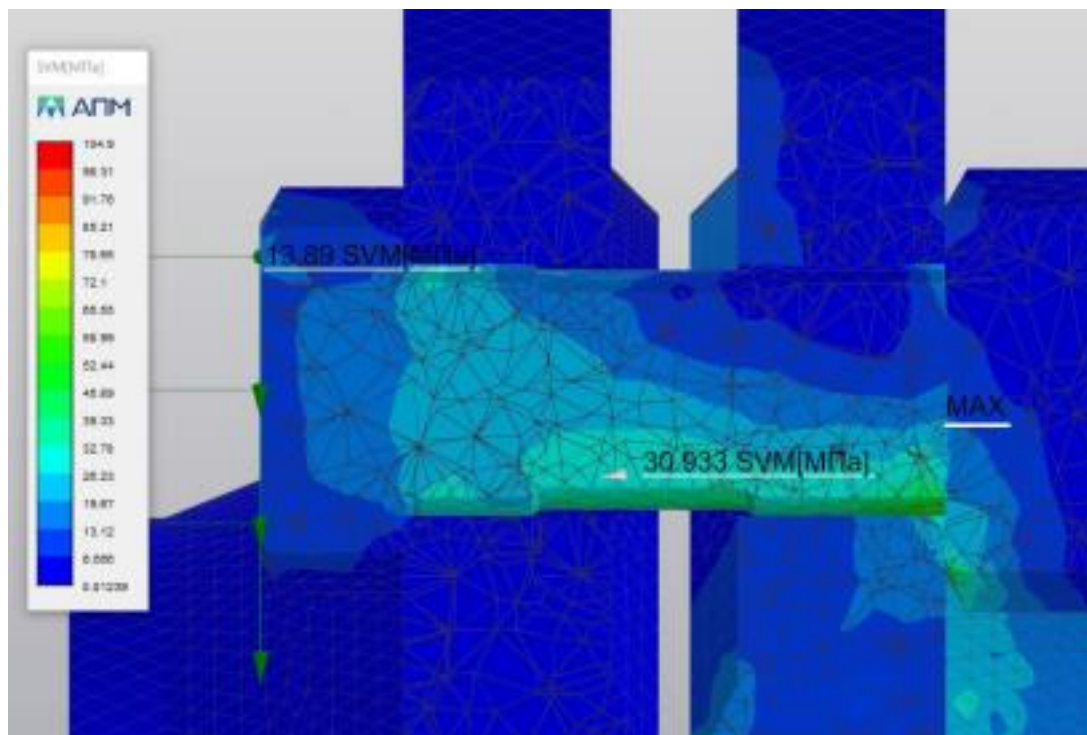


Рисунок 4 – Результат расчета резьбового соединения

#### **Описание методики оценивания:**

Подготовленная и оформленная в соответствии с требованиями контрольная работа оценивается по следующим критериям:

- достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в контрольной работе проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);

- уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований); - личные заслуги автора контрольной работы (новые знания, которые получены помимо образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);

- культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора) - культура оформления материалов работы (соответствие работы всем стандартным требованиям); - знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;

- степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всесторонность раскрытия темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);

- качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);

- использование литературных источников.

При положительном заключении работа допускается к защите, о чем делается запись на титульном листе работы.

При отрицательной рецензии работа возвращается на доработку с последующим представлением на повторную проверку с приложением замечаний, сделанных преподавателем.

### Критерии оценки (в баллах):

Баллы	Описание
15	если все выполнено в соответствии с требованиями
10	если все выполнено с замечаниями
5	если частично выполнено
3	если частично выполнено с серьезными замечаниями

#### 4.2.6. Форма отчета по лабораторной работе

Подготовленная и оформленная в соответствии с требованиями лабораторная работа оценивается по следующим критериям:

- сформированные цель и задачи работы;
- соответствие полученных выводов цели и задачам лабораторной работы;
- знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;
- исходные данные содержат полную информацию;
- умение интерпретировать данные полученные на лабораторной работе;
- умение рассказать содержание работы и обосновать полученные выводы.

*Целью работы* является ознакомление и изучение принципов работы компонента аппаратно-программного комплекса «Сканер механических напряжений «STRESSVISION» для оценки вида напряженного состояния.

#### *Задачи работы:*

- Изучить теоретические основы возникновения остаточных напряжений и принцип, порядок работы магнитоанізотропного метода неразрушающего контроля, порядок анализа карт РГМН, КМН, КНН;
- Исследовать напряженное состояние плоских и цилиндрических образцов магнитоанізотропным устройством STRESS VISION;
- Проанализировать напряженное состояние оценкой карт разности главных механических напряжений (РГМН), концентрации механических напряжений (КМН), коэффициента неоднородности напряжений (КНН), а также послойной статистики.
- Выявить опасные и зарождающиеся дефекты, определить наличие условий разрушения объекта контроля в исследованной зоне контроля (согласно ГОСТу);
- Сделать выводы о работоспособности объекта.

#### *Объекты исследования:*

- Металлическая плита со сварным швом, размерами 100мм \* 80мм \* 11мм;
- Металлическая плита со сварным швом, размерами 80мм \* 60мм \* 6мм;

#### *Оборудование и материалы:*

1. Блок измерительный «STRESSVISION»;
2. Программный продукт «STRESSVISION»  
Expert на ПЭВМ с ключом электронной защиты, с зарядным устройством;
3. Координатная сетка или мел для её нанесения на объект;
4. Устройство низкочастотной виброустановки - комплекс ВТУ-01МП.2;



## 5. Вибростол.

### *Методика проведения работы:*

1. Ознакомиться с теоретической частью;
2. Ознакомиться с техникой безопасности при работе с устройством сканера механических напряжений, устройства низкочастотной виброобработки;
3. Ознакомиться с паспортом (инструкцией) по работе с устройством [StressVision](#); [Комплекс ВТУ](#).
4. Описать цель работы и задачи;
5. Описать объекты исследования: материальное исполнение; диаметр, толщина, схема сканирования с указанием сварного шва; условие работоспособности согласно ГОСТу;
6. Описать оборудования и материалы;
7. Описать планирование эксперимента:  
таблица 1 - Сканирование напряженно-деформированного состояния до воздействия;  
таблица 2 - Низкочастотная виброобработка;  
таблица 3 - Сканирование напряженно-деформированного состояния после воздействия;
8. Подготовить рабочее место, объект исследования, оборудование согласно технике безопасности;
9. Провести сканирование механических напряжений;
10. Виброобработка объекта;
11. Провести сканирование механических напряжений;

### *Методика анализа данных:*

1. Подключить компьютер к сканеру механических напряжений и записать данные с устройства; [получение карт РГМН, КМН, КНН](#).
2. Согласно составленному планированию эксперимента, для каждой зоны получить:  
-2д и 3д карты РГМН, КМН, КНН по слою от 0-3мм и по слою от 0-6мм;  
-послойную статистику карт;  
-диаграмму распределения РГМН, КМН и КНН по длине сварного шва, зоны термического влияния.
3. Согласно 3 теории прочности определить опасные участки, построить согласно статистике карт диаграммы распределения РГМН, КМН, КНН (для каждого слоя отдельно).
4. Согласно изученной методической рекомендации [МДС 53-2.2004 Диагностика стальных конструкций](#) оценить возникновение дефектов.
5. Сделать выводы о напряженно-деформированном состоянии объекта до и после воздействия, работоспособности объекта.

Баллы	Описание
10-9	Лабораторная работа выполнена полностью и правильно
8-6	Лабораторная работа выполнена полностью, но решение содержит несущественные ошибки
5-3	Лабораторная работа выполнена не полностью или содержит существенные ошибки
1-2	Лабораторная работа выполнена частично и содержит существенные ошибки
0	Лабораторная работа не выполнена

### **4.3. Рейтинг-план дисциплины**

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.



## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература:

1. Кузнецов Г.В. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
2. Замалеев З. Х., Посохин В. Н., Чефанов В. М. Основы гидравлики и теплотехники: Учебное пособие. — СПб: Лань, 2014. — 352 с. ЭВК, ЭБС «Лань»  
[https://e.lanbook.com/book/39146#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/39146#book_name)
3. Кудинов И. В., Стефанюк Е. В. Теоретические основы теплотехники: учебное пособие. Ч. 1. Термодинамика. — Самара: Самарский государственный архитектурно строительный университет, 2013. — 172 с. ЭВК, ЭБС УБО  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=256110&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=256110&sr=1)
4. Круглов Г. А., Булгакова Р. И., Круглова Е. С. Теплотехника. – Лань, 2012. – 208 с. ЭВК, ЭБС «Лань» – [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=3900](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3900)

#### Дополнительная литература:

5. Антонов А.А., Чернышев Г.Н., Андреева Л.П., Овчинников В.В. Диагностический комплекс для измерения остаточных напряжений в сварных конструкциях / Машиностроение и инженерное образование. 2006. № 3 (8). С. 13-23.
6. OpenFOAM.Tutorial Guide: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide>
7. МДС 53-2.2004 Диагностика стальных конструкций, Москва, 2015: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293854/4293854516.pdf>
8. Копельман Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций. СПб :Издательство «Лань», 2010. 464 с.

### 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
2. [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)
3. [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
4. [www.elib.bashedu.ru](http://www.elib.bashedu.ru)
5. [www.truboprovod.ru](http://www.truboprovod.ru)
6. <http://kompas.ru/>
7. [www.plm.automation.siemens.com](http://www.plm.automation.siemens.com)
8. Система дистанционного обучения БашГУ (СДО БашГУ) на базе Moodle.
9. Пакет офисных приложений профессионального уровня OfficeProfessionalPlus 2013 RussianOLPNLAcademicEdition № 0301100003613000104-1 от 17.06.2013 г.
10. Серверная операционная система Windows Server Standard 2012 Russian OLP NL AcademicEdition 2Proc № 0301100003613000104-1 от 17.06.2013 г.
11. Операционная система для персонального компьютера Win SL & Russian OLP NL AcademicEdition Legalization GetGenuine № 0301100003613000104-1 от 17.06.2013 г.
12. Обновление операционной системы для персонального компьютера WindowsProfessional 8 RussianUpgradeOLPNLAcademicEdition№ 0301100003613000104-1 от 17.06.2013 г.
13. Desktop Education ALNG LicSAPk OLVS E 1Y Academic Enterprise № 0301100003613000104-1 от 17.06.2013 г..2017.



## 6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Таблица 1 - Требования к материально-техническому оснащению для реализации дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: аудитория №301, аудитория №302 (инженерный факультет)	Лекционные занятия	Аудитория № 301: Доска, мел, парты, стулья. Аудитория № 302: Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, проектор Nec M361X(M361XG) LCD 3600Lm XGA(1024x768) 3000:1, экран ScreenMedia Economy-P 1:1 180x180с.
2. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа: аудитория №001, Учебный компьютерный класс для проведения практических (семинарских) и лабораторных занятий (инженерный факультет)	Практические (семинарские) занятия	Стол – 7 шт. Стулья, 14 шт. Ноутбуки Packard Bell ENT71BM-C36P с зарядным устройством – 14 шт. Компьютерная оптическая USB-мышь – 14 шт. Телевизор с ЖК дисплеем DEXP SmartTV – 1 шт. HDMI кабель для подключения ноутбука к телевизору (проектору) – 1 шт.
3. Проведение групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: аудитория 301 (инженерный факультет)	Консультации, тестирование	Доска, мел, парты, стулья.
4. Специализированное помещение для проведения лабораторной работы: инженерный факультет	Лабораторная работа	Блок измерительный «STRESSVISION»; Программный продукт «STRESSVISION» Expert на ПЭВМ с ключом электронной защиты, с зарядным устройством; Координатная сетка или мел для её нанесения на объект; Устройство низкочастотной виброустановки - комплекс ВТУ-01МП.2; Вибростол.

5. Помещения для самостоятельной работы: библиотека, аудитория № 201 (физмат. корпус)	Самостоятельная работа студентов	Pentium G2130/4Гб/500Гб/21,5"/Кл/мышь - 50 шт., ПК в компл. Фермо Intel. Фермо Intel Моноблок №1 Фермо AMD A8-5500 – 50 шт.
---	----------------------------------	---

Для освоения студентами профессиональных компетенций необходимо создать обязательные условия для аудиторных занятий и самостоятельной работы. Для аудиторной работы:

- обеспечение рабочего места каждому студенту;
- достаточное освещение в соответствии с нормативной документацией по охране труда и техники безопасности;
- хорошая звукоизоляция;
- вентилируемое помещение;
- доступ к компьютеру и сети Интернет;
- мастер-классы преподавателя на практических и лабораторных занятиях для эффективного освоения навыков.

Для самостоятельной работы:

- выдача индивидуального задания студенту;
- предоставление методических рекомендаций и справочной литературы студентам; – удаленного доступа к рабочим компьютерам для выполнения самостоятельной работы в программном обеспечении;
- оказание очных и дистанционных консультаций преподавателем.

Реализация дисциплины предполагает наличие учебного кабинета и следующих технических средств и оборудования для обеспечения образовательного процесса:

- рабочие места студентов, включающие столы, стулья и лампу (по возможности) для удобства ручного черчения на бумаге;
- персональные компьютеры или ноутбуки с мышкой;
- инженерное лицензионное программное обеспечение;
- учебная доска или интерактивная доска (по возможности);
- мультимедиа проектор и экран;
- методическая и справочная литература;
- копия рабочей программы дисциплины;
- запасные линейки, циркули, транспортиры (по возможности)

МИНОБРНАУКИ РФ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» ИНЖЕНЕРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины

Метод конечных элементов на 6 семестр  
(наименование дисциплины)

Очная форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5 / 180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	53.7
лекций	16
практических / семинарских	20
лабораторных	16
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем)	1.7
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) включая подготовку к экзамену/зачету	81.3

Формы контроля:

Контрольная работа: 6 семестр

Экзамен: 6 семестр

№	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)					Основная и дополнитель ная литература, рекомендуем ая студентам (номера из списка)	Задания по самостояте льной работе студентов	Форма текущего контроля успеваем ости (коллокви умы, контроль ные работы, компьютер ные тесты и т.п.)
		Всего	ЛК	ПР/С ЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Модуль 1. Введение в метод конечных элементов									
1	1.1. Основная концепция МКЭ 1.2. Напряженно-деформированное состояние. 1.3. Критерии работоспособности. Теории прочности (Информационная сеть «Техэксперт») 1.4. Анализ напряженного состояния (StressVision)		4	4	2	15	[5], [7], [8]		Тестирование Круглый стол
Модуль 2. Метод конечных элементов в тепловых процессах									
2	2.1. Теоретические основы линейных задач теплопроводности. 2.2. Теоретические основы нелинейных задач теплопроводности. 2.3. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 2.4. Решение задач тепловых процессов методом конечных элементов(OpenFOAM, APM)		4	4	2	15	[1], [5], [6]	[2 - гл. 8 и 10], [17 - гл.1]	Тестирование Практические задачи

	WinMachine,Ansys).								
Модуль 3. Метод конечных элементов в гидравлических процессах									
3	3.1. Гидрогазодинамические процессы. 3.2. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 3.3. Решение задач гидравлических процессов методом конечных элементов(OpenFOAM,APM WinMachine,Ansys).		4	4	4	20	[2], [4], [6]	[2 - гл. 8 и 10], [8 - гл.1]	Тестирование Практические задачи
Модуль 4. Метод конечных элементов в прочностных расчетах									
4	4.1. Основы численного моделирования при прочностном расчете. 4.2. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 4.3. Расчет теплообменной аппаратуры методом конечных элементов (OpenFOAM,APM WinMachine,Ansys). 4.4. Сканирование напряженного состояния магнитоанизотропным методом		4	8	8	31,3	[2], [3], [6]	[2 -гл. 2 и 3], [7 - гл. 1]	Контрольная работа Лабораторная работа

Принятые сокращения:

ЛК - лекция, ПР - практические занятия, СЕМ - семинар, ЛР - лабораторные занятия, СРС - самостоятельная работа студентов и контроль самостоятельной работы.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины

Метод конечных элементов на 6 семестр

(наименование дисциплины)

Заочная форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5 / 180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	25.7
лекций	8
практических / семинарских	8
лабораторных	8
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем)	1.7
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) включая подготовку к экзамену/зачету	145.3

Формы контроля:

Контрольная работа: 4 курс

Экзамен: 4 курс

№	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)					Основная и дополнитель ная литература, рекомендуем ая студентам (номера из списка)	Задания по самостояте льной работе студентов	Форма текущего контроля успеваем ости (коллокви умы, контроль ные работы, компьютер ные тесты и т.п.)
		Всего	ЛК	ПР/С ЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Модуль 1. Введение в метод конечных элементов									
1	1.1. Основная концепция МКЭ 1.2. Напряженно-деформированное состояние. 1.3. Критерии работоспособности. Теории прочности (Информационная сеть «Техэксперт») 1.4. Анализ напряженного состояния (StressVision)	32	2	2		30	[5], [7], [8]		Тестирование Круглый стол
Модуль 2. Метод конечных элементов в тепловых процессах									
2	2.1. Теоретические основы линейных задач теплопроводности. 2.2. Теоретические основы нелинейных задач теплопроводности. 2.3. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 2.4. Решение задач тепловых процессов методом конечных элементов(OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys).	42	2	2	2	36	[1], [5], [6]	[2 - гл. 8 и 10], [17 - гл.1]	Тестирование Практические задачи

Модуль 3. Метод конечных элементов в гидравлических процессах									
3	3.1. Гидрогазодинамические процессы. 3.2. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 3.3. Решение задач гидравлических процессов методом конечных элементов(OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys).	42	2	2	2	36	[2], [4], [6]	[2 - гл. 8 и 10], [8 - гл.1]	Тестирование Практические задачи
Модуль 4. Метод конечных элементов в прочностных расчетах									
4	4.1. Основы численного моделирования при прочностном расчете. 4.2. Поверочные расчеты изделий простых форм и размеров(MathCad). 4.3. Расчет теплообменной аппаратуры методом конечных элементов (OpenFOAM, APM WinMachine, Ansys). 4.4. Сканирование напряженного состояния магнитоанізотропним методом	51,3	2	2	4	43,3	[2], [3], [6]	[2 - гл. 2 и 3], [7 - гл. 1]	Контроль ная работа Лабораторная работа

Принятые сокращения:

ЛК - лекция, ПР - практические занятия, СЕМ - семинар, ЛР - лабораторные занятия, СРС - самостоятельная работа студентов и контроль самостоятельной работы.



**Рейтинг-план учебной дисциплины**  
**«Метод конечных элементов»**

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» Курс 3 семестр 6, 2020 / 2021 уч. г.

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1. Введение в метод конечных элементов</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Аудиторная работа	1	1	0	1
2. Практическая работа	1	4	0	4
3. Контроль выполнения и проверка лабораторных и практических работ	1	5	0	5
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Компьютерное тестирование	5	1	0	5
<b>Модуль 2. Метод конечных элементов в тепловых процессах</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Аудиторная работа	1	1	0	1
2. Практическая работа	1	4	0	4
3. Контроль выполнения и проверка лабораторных и практических работ	1	5	0	5
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Компьютерное тестирование	5	1	0	5
<b>Модуль 3. Метод конечных элементов в гидравлических процессах</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Аудиторная работа	1	2	0	2
2. Практическая работа	1	3	0	3
3. Контроль выполнения и проверка лабораторных и практических работ	1	5	0	5
<b>Рубежный контроль</b>				

1. Компьютерное тестирование	5	1	0	5
<b>Модуль 4. Метод конечных элементов в прочностных расчетах</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
1. Аудиторная работа	1	2	0	2
2. Практическая работа	1	3	0	3
3. Контроль выполнения и проверка лабораторных и практических работ	2	5	0	10
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Письменная контрольная работа	10	1	0	10
<b>Поощрительные баллы</b>				
1. Студенческая олимпиада	5	1	0	5
2. Публикация статей	5	1	0	5
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
Посещение лекционных занятий	-	-	0	-6
Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)	-	-	0	-10
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Экзамен	30	1	0	30

Утверждено на заседании кафедры \_\_\_\_\_

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Преподаватель \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /