

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

### **ОСНОВЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ**

(наименование дисциплины (модуля))

### **Уровень высшего образования**

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

### **Направление подготовки / специальность**

**01.03.03 Механика и математическое моделирование**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

### **Направленность образовательной программы**

профиль «Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

### **Квалификация (степень)**

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

### **Форма обучения**

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

# 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Основы механики сплошной среды» относится к обязательной части

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.18, Основы механики сплошной среды относится к обязательной части ООП направления подготовки направлению 01.03.03 –Механика и математическое моделирование.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
<b>ОПК-2</b> Способен применять методы математического и алгоритмического моделирования, современный математический аппарат в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	<b>ОПК-2.1. Знает</b> основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования. <b>ОПК-2.2. Умеет</b> осуществлять анализ и выбор методов решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и компьютерных наук. <b>ОПК-2.3. Владеет</b> навыками применения базовых знаний в области математического и алгоритмического моделирования, а также современный математический аппарат при решении задач профессиональной деятельности	<b>Знать</b> разделы механики деформируемого твердого тела и смежных дисциплин, необходимые при реализации моделей МСС  <b>Уметь</b> применять основные понятия и теоремы при решении задач механики, проводить их доказательства, реализовывать известные модели МСС  <b>Владеть</b> подходами, применяемыми при реализации математических моделей МСС, а также современный математический аппарат при решении задач профессиональной деятельности	Контрольная работа
<b>ОПК-5</b> Способен использовать в педагогической деятельности научные основы знаний в сфере математики и механики	<b>ОПК-5.1. Знает</b> основы преподавания физико-математических дисциплин и информатики в средней школе и специальных учебных заведениях.	<b>Знает</b> основы преподавания физико-математических дисциплин в школе средней школе и специальных учебных заведениях. Знать предметную область механики, математики и информатики.  <b>Умеет</b> использовать полученные знания в	Собеседование

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
	<b>ОПК-5.2. Умеет</b> использовать полученные фундаментальные и специальные знания в области физико-математических наук в преподавательской деятельности. <b>ОПК-5.3. Владеет навыками</b> планирования и подготовки учебных занятий, а также представления научных знаний.	преподавательской деятельности в области физико-математических наук  <b>Владеет</b> навыками планирования и подготовки учебных занятий, а также представления научных знаний	

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины<sup>1</sup>

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>50</b>
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>22</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен<sup>2</sup></b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины<sup>3</sup>

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе				
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема1. Предмет и методы механики	6	4	-		4	2

<sup>1</sup> (ЗАПОЛНИТЬ в соответствии с учебным планом

<sup>2</sup> (указать нужное)

<sup>3</sup> (структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

сплошной среды. Геометрические и кинематические понятия, используемые для описания движения деформируемых тел (лагранжево и эйлериано описания движения; закон движения, вектор перемещений)						
Тема 2 Тензор деформаций, тензоры конечных и малых деформаций;	8	4	2		6	2
Тема 3 Тензор скоростей деформаций, скорость, ускорение; вектор вихря, их физический смысл; формула Коши-Гельмгольца	6	2	2		4	2
Тема 4 Интегральные законы сохранения массы, количества движения, момента количества движения.	8	4	2		6	2
Тема 5 Дифференциальные уравнения неразрывности, движения и момента количества движения.	7	2	2		4	3
Тема 6 Массовые и поверхностные силы; тензор напряжений, механический смысл его компонент. Массовые и поверхностные пары сил, тензор моментных напряжений.	9	4	2		6	3
Тема 7 Простейшие модели сплошных сред. Несжимаемая и сжимаемая идеальные жидкости, уравнение Эйлера;	10	5	2		7	3
Тема 8 Несжимаемая линейновязкая жидкость, уравнение Навье-Стокса;	9	4	2		6	3

Тема 9 Линейно-упругая деформируемая среда	7	3	2		5	2
Итого	70	32	16		48	22

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: владеть подходами, применяемыми при реализации математических моделей МСС, навыками планирования и подготовки учебных занятий.
- компетенций – ОПК-2; ОПК-5.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

##### **Виды самостоятельной работы студентов:**

- проработка теоретического материала лекционных занятий;
- подготовка к выполнению письменных контрольных работ;

##### **4.1. Проработка теоретического материала лекционных занятий**

Выполняется самостоятельно с использованием лекционных материалов. Контроль выполняется в форме проведения ежемесячного устного экспресс - опроса по понятиям, фактам, формулировкам, выполняемого в течение 15 минут на научно-практических занятиях. Опросы включают по пять коротких вопросов и оцениваются баллами от 0 до 5 (сумма баллов, полученных за ответ на каждый вопрос), а также итоговым двоичным показателем «зачтено» - «не зачтено». «Зачтено» соответствует полученным баллам от 3 и выше.

##### **4.3. Подготовка к выполнению письменных контрольных работ**

В течение семестра проводится две домашние контрольные работы по материалам разделов лекционного курса (см. таблицу с описанием разделов дисциплины из п. 3.2.).

Для подготовки к контрольным работам рекомендуется повторно прочитать соответствующий лекционный материал, просмотреть полезные разделы в соответствующих источниках из списка рекомендованной литературы (раздел 6), а также самостоятельно решить несколько задач по теме контрольной работы.

##### **4.4. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена**

В качестве методических материалов при подготовке к экзамену рекомендуется использовать собственные конспекты лекций, просмотреть решения задач, выполненные на практических занятиях и во время выполнения домашних заданий, а также источники, рекомендованные в списке литературы раздела 6.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *заданий* и промежуточной аттестации в форме вопросов к экзамену.

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
<b>плохо</b>	<b>не зачтено</b>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
<b>неудовлетворительно</b>		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
<b>удовлетворительно</b>	<b>зачтено</b>	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
<b>хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
<b>очень хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>отлично</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>превосходно</b>		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»

Оценка		Уровень подготовки
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

№№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Гипотеза сплошности	ОПК-2, ОПК-5
2.	Континуум	ОПК-2, ОПК-5
3.	Частица, элементарный объём	ОПК-2, ОПК-5
4.	Линейный элемент	ОПК-2, ОПК-5
5.	Деформированное состояние СС	ОПК-2, ОПК-5
6.	<b>Тензор конечных деформаций Лагранжа (тензор Грина)</b>	ОПК-2, ОПК-5
7.	<b>Тензор конечных деформаций Эйлера (тензор Альманси)</b>	ОПК-2, ОПК-5
8.	Тензор малых деформаций	ОПК-2, ОПК-5
9.	Механический смысл первого инварианта тензора деформаций	ОПК-2, ОПК-5
10.	<b>Деформация окрестности частицы</b>	ОПК-2, ОПК-5
11	Главные деформации и направления	ОПК-2, ОПК-5
12	Главные инварианты тензора деформаций	ОПК-2, ОПК-5

13	Тензор скоростей деформаций	ОПК-2, ОПК-5
14	Материальная производная	ОПК-2, ОПК-5
15	<b><i>Первая теорема Гельмгольца</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
16	Объёмные и поверхностные силы в МСС, их характеристики	ОПК-2, ОПК-5
17	Напряжённое состояние СС	ОПК-2, ОПК-5
18	<b><i>Тензор напряжений</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
19	<b><i>Максимальные и минимальные касательные напряжения</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
20	Уравнение сохранения массы	ОПК-2, ОПК-5
21	<b><i>Уравнение неразрывности (эйлеровы переменные)</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
22	Уравнение сохранения количества движения	ОПК-2, ОПК-5
23	<b><i>Дифференциальные уравнения движения</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
24	Уравнение сохранения момента количества движения	ОПК-2, ОПК-5
25	<b><i>Симметрия тензора напряжений</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
26	<b><i>Свойство внутренних напряжений</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
27	Теорема живых сил	ОПК-2, ОПК-5
28	Модель, математическая модель	ОПК-2, ОПК-5
29	Определение упругой среды	ОПК-2, ОПК-5
30	Модель линейной изотропной упругой среды	ОПК-2, ОПК-5
31	<b><i>Уравнения движения СС в перемещениях (дифференциальные уравнения Ламе)</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
32	Основные краевые задачи теории упругости	ОПК-2, ОПК-5
33	Определение жидкости	ОПК-2, ОПК-5
34	Модель идеальной неоднородной несжимаемой жидкости	ОПК-2, ОПК-5
35	<b><i>Интеграл Бернулли, его интерпретации</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
36	<b><i>Равновесие идеальной жидкости, условия на объёмные силы</i></b>	ОПК-2, ОПК-5
37	Модель идеального баротропного газа	ОПК-2, ОПК-5
38	Модель вязкой несжимаемой жидкости	ОПК-2, ОПК-5



39	Модель вязкой баротропной жидкости	ОПК-2, ОПК-5
----	------------------------------------	--------------

**5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции –не предусмотрены**

**5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенций ОПК-2, ОПК-5**

Даны в приложении 1.

1. Расчетно-графическая работа по теме «Деформированное состояние среды»
2. Расчетно-графическая работа по теме «Скорость деформирования среды»
3. Расчетно-графическая работа по теме «Напряженное состояние среды»

**5.2.4. Темы курсовых работ, эссе, рефератов - не предусмотрено**

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Седов Л. И. - Механика сплошной среды: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Механика" : в 2 т. Т. 1,2. - СПб. : Лань, 2004. - 528 с. – **4экз.**
2. Седов Л. И. - Механика сплошной среды: [в 2 т.]. Т. 1. - М.: Наука, 1994. - 528 с. – **1экз.**
3. Седов Л. И. - Механика сплошной среды: [в 2 т.]. Т. 2. - М.: Наука, 1994. - 560 с. – **1экз.**
4. Ильюшин А. А. - Механика сплошной среды: [учеб. для ун-тов по специальности "Механика"]. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 310 с. - **3экз.**
5. Мейз Дж. - Теория и задачи механики сплошных сред. - М.: Мир, 1974. - 318 с. – **60экз.**

б) дополнительная литература:

1. Коваленко А. Д. - Основы термоупругости: [для мех.-мат. фак. ун-тов]. - Киев: Наукова думка, 1970. - 307 с.. – **1экз.**
2. Лурье А. И. - Нелинейная теория упругости. - М.: Наука, 1980. - 512 с. – **3экз.**
3. Коваленко А. Д. - Основы термоупругости: [для мех.-мат. фак. ун-тов]. - Киев: Наукова думка, 1970. - 307 с. – **9экз.**
4. Победря Б. Е. - Лекции по тензорному анализу: [учеб. пособие для вузов по специальности "Механика"]. - М.: Изд-во МГУ, 1986. - 262, [1] с. – **5экз.**
5. Ильюшин А. А., Ломакин В. А., Шмаков А. П. - Задачи и упражнения по механике сплошной среды: [для ун-тов по специальности "Механика"]. - М.: Изд-во МГУ, 1979. - 200 с. – **2экз.**

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

<http://www.lib.unn.ru/> , Университетская библиотека ONLINE <http://www.biblioclub.ru> Библиотека "Лань" <http://e.lanbook.com/> , Ресурс открытого доступа Электронная физико-математическая библиотека EqWorld ,  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/algebra.htm>).

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.03 Механика и математическое моделирование

Автор(ы) д.ф.-м.н., профессор А.К. Любимов

Заведующий кафедрой ТКиЭМ д.ф.-м.н., профессор Л.А. Игумнов

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.

## Варианты заданий для контрольной работы

### Работа 1.

Институт информационных технологий, математики и механики

кафедра ТКЭМ

Направление подготовки бакалавров «Механика и математическое моделирование»

Курс «Основы МСС», 5 семестр

### Расчетно-графическая работа по теме «Деформированное состояние среды»

Относительно совмещённых материальных и пространственных осей задан вектор перемещения

$$\vec{u} = Ax_1^2x_2\vec{e}_1 + Bx_2^2x_3^2\vec{e}_2 + Cx_1x_3^2\vec{e}_3$$

1. Определить смещённое положение частицы первоначально находившейся в точке  $M(a,b,c)$
2. Определить в точке  $M(a,b,c)$ :
  - Тензор малых деформаций
  - Тензор линейного поворота
  - Вектор поворота
3. Найти для вычисленного тензора деформации:
  - Главные деформации и направления
  - Разложить тензор деформации на шаровую и девиаторную составляющие
4. Проверить удовлетворяют ли полученные компоненты тензора деформаций уравнениям совместности.
5. Оформить отчёт по работе

№ варианта	A	B	C	a	b	c	ФИО студента
1.	1	2	1	0	3	1	
2.	2	3	2	2	0	3	
3.	3	4	3	3	3	0	
4.	4	5	4	3	0	4	
5.	5	1	5	0	3	5	
6.	1	3	6	6	0	4	
7.	2	4	8	7	0	4	

8.	3	5	7	4	0	8	
9.	4	1	9	0	4	9	
10.	5	2	1	1	0	4	
11.	1	4	2	2	5	0	
12.	2	5	3	5	0	3	
13.	3	1	4	0	5	4	
14.	4	2	5	5	0	5	
15.	5	3	6	6	5	0	
16.	1	5	7	6	0	7	
17.	2	1	8	0	6	8	
18.	3	2	9	9	0	6	
19.	4	3	1	4	6	0	
20.	5	4	2	6	0	4	

## Работа 2

Институт информационных технологий, математики и механики

кафедра ТКЭМ

Направление подготовки бакалавров «Механика и математическое моделирование»

Курс «Основы МСС», 5 семестр

### Расчетно-графическая работа по теме «Скорость деформирования среды»

Задано поле скоростей

$$\vec{v} = Ay_1^2 t \vec{e}_1 + By_2^2 t^2 \vec{e}_2 + Cy_1 y_2^2 t \vec{e}_3$$

6. Определить скорость и ускорение находящейся в момент  $t = T$  в точке  $M(a,b,c)$
7. Определить в момент  $t = T$  в точке  $M(a,b,c)$ :
  - Градиент скорости
  - Тензор скорости деформаций
  - Тензор скорости поворота
  - Вектор скорости поворота
8. Найти для вычисленного тензора скорости деформации в момент  $t = T$  в точке  $M(a,b,c)$ :
  - Главные скорости деформации и главные направления

- Разложить тензор на шаровую и девиаторную составляющие

### 9. Оформить отчёт по работе

№ варианта	A	B	C	a	b	c	T	ФИО студента
21.	1	2	1	0	3	1	9	
22.	2	3	2	2	0	3	8	
23.	3	4	3	3	3	0	7	
24.	4	5	4	3	0	4	6	
25.	5	1	5	0	3	5	5	
26.	1	3	6	6	0	4	3	
27.	2	4	8	7	0	4	4	
28.	3	5	7	4	0	8	2	
29.	4	1	9	0	4	9	1	
30.	5	2	1	1	0	4	4	
31.	1	4	2	2	5	0	5	
32.	2	5	3	5	0	3	6	
33.	3	1	4	0	5	4	7	
34.	4	2	5	5	0	5	8	
35.	5	3	6	6	5	0	9	
36.	1	5	7	6	0	7	3	
37.	2	1	8	0	6	8	2	
38.	3	2	9	9	0	6	1	
39.	4	3	1	4	6	0	2	
40.	5	4	2	6	0	4	3	

### Работа 3

Институт информационных технологий, математики и механики

кафедра ТКЭМ

**Расчетно-графическая работа по теме «Напряженное состояние среды»**

Задан тензор напряжений в декартовой системе координат с матрицей коэффициентов

$$\begin{pmatrix} Dx_1x_2 & 5x_2^2 & -1 \\ 5x_2^2 & -1 & 2x_3 \\ -1 & 2x_3 & (D-2)x_3^2 \end{pmatrix}$$

10. Определить вектор напряжения  $\vec{p}_n$  на площадке с нормалью  $\vec{n} = A\vec{e}_1 + B\vec{e}_2 + C\vec{e}_3$  в частице  $M(x_1, x_2, x_3)$
11. Определить нормальную и касательную составляющую вектора  $\vec{p}_n$
12. Определить угол между  $\vec{p}_n$  и  $\vec{n}$
13. Найти для вычисленного тензора напряжений:
  - Главные напряжения и направления
  - Разложить тензор напряжений на шаровую и девиаторную составляющие
  - Вычислить главные инварианты тензора напряжений в исходных и главных осях, проверить их совпадение
  - Определить максимальные касательные напряжения
14. Определить удовлетворяют ли компоненты тензора напряжений уравнениям равновесия.
15. Оформить отчет по работе

№ варианта	A	B	C	D	$x_1$	$x_2$	$x_3$	ФИО студента
41.	1	2	1	3	-1	3	1	
42.	2	3	2	4	2	-1	3	
43.	3	4	3	5	3	3	-1	
44.	4	5	4	6	3	-1	4	
45.	5	1	5	7	-1	3	5	
46.	1	3	6	3	6	-1	4	
47.	2	4	8	4	7	-1	4	
48.	3	5	7	5	4	-1	8	
49.	4	1	9	6	-1	4	9	
50.	5	2	1	7	1	-1	4	
51.	1	4	2	3	2	5	-1	

52.	2	5	3	4	5	-1	3	
53.	3	1	4	5	-1	5	4	
54.	4	2	5	6	5	-1	5	
55.	5	3	6	7	6	5	-1	
56.	1	5	7	7	6	-1	7	
57.	2	1	8	3	-1	6	8	
58.	3	2	9	4	9	-1	6	
59.	4	3	1	5	4	6	-1	
60.	5	4	2	6	6	-1	4	