

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 03 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Цифровые технологии проектирования и прочностного анализа  
(наименование)

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

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

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

**Направление подготовки:** 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Экспериментальная механика  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является получение студентами знаний в области численного процессов неупругого деформирования и моделирования механического поведения конструкционных материалов в современных вычислительных пакетах и комплексах или при использовании языков программирования.

Задачи дисциплины:

- изучение алгоритмов численного моделирования процессов неупругого деформирования, в том числе с использованием информации из различных электронных ресурсов;
- формирование умений и навыков использования языков программирования или пакетов прикладных программ для анализа и оценки закономерностей процессов деформирования и разрушения конструкционных материалов.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- алгоритмы компьютерного моделирования механического поведения конструкционных материалов;
- закономерности процессов неупругого деформирования и накопления повреждений.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.3	ИД-1ПК-1.3	Знать существующие подходы и алгоритмы численного моделирования процессов деформирования и разрушения	Знает основные механические характеристики материалов, стандарты испытаний и экспериментальные методы определения свойств материалов	Отчёт по практическому занятию
ПК-1.3	ИД-2ПК-1.3	Уметь проводить компьютерное моделирование механического поведения материалов в пакетах прикладных вычислительных программ	Умеет использовать информацию о свойствах материала для моделирования механического поведения и оптимизации свойств материалов	Отчёт по практическому занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.3	ИД-3ПК-1.3	Владеть навыками постановок краевых задач и их численной реализации в пакетах прикладных вычислительных программ	Владеет навыками оценки и прогнозирования свойств конструкционных материалов на основе полученных результатов моделирования и экспериментального исследования	Дифференцированный зачет

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	14	14	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	20	20	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	108	108	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Компьютерное моделирование материалов	7	0	10	54
Анализ научных электронных изданий и определение актуальных направлений исследования. Алгоритмы моделирования периодических и случайных структур конструкционных материалов. Датчики случайных чисел, встроенные в пакеты прикладных программ и языки программирования. Использование датчиков для реализации разных законов распределения случайных величин.				
Компьютерное моделирование процессов	7	0	10	54
Особенности механического поведения конструкционных и наноматериалов. Существующие подходы и алгоритмы численного моделирования процессов деформирования и разрушения. Компьютерное моделирование механического поведения материалов в пакетах прикладных вычислительных программ или при использовании программных комплексов собственной разработки. Анализ результатов компьютерного моделирования с целью исследования процессов накопления повреждений и выявления закономерностей механического поведения конструкционных материалов.				
ИТОГО по 2-му семестру	14	0	20	108
ИТОГО по дисциплине	14	0	20	108

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Построение геометрии корпуса динамика.
2	Построение 3D модели кронштейна.
3	Исследование напряженно-деформированного состояния рам.
4	Моделирование деформирования образцов при растяжении в упруго пластической постановке.
5	Прочностной анализ композитной цилиндрической оболочки под внутренним давлением.
6	Моделирование затвердевания слитка.
7	Потеря устойчивости и закритическое деформирование сжатого стержня.
8	Моделирование процесса разрушения упруго-хрупкого тела со случайными прочностными характеристиками конечных элементов

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В.Н. Ашихмин [и др.]. - М: Логос, 2005.	31
2	Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике : учебник для вузов / В. С. Зарубин. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.	30
3	Метод конечных элементов : учебное пособие для вузов / П. М. Варвак [и др.]. - Киев: Вища шк., 1981.	15
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		

1	Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред / О. М. Белоцерковский. - Москва: Наука, Физматлит, 1984.	14
2	Закритическое деформирование структурных элементов. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, , 2000. - (Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов : учебное пособие для вузов : в 3 ч.; Ч. 3).	45
3	Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. - Москва: УРСС, 2004.	28
4	Модели накопления повреждений. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, , 2000. - (Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов : учебное пособие для вузов : в 3 ч.; Ч. 1).	43
5	Основы математической теории закритической деформации разупрочняющихся сред. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, , 2000. - (Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов : учебное пособие для вузов : в 3 ч.; Ч. 2).	45
6	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	44
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Модели накопления повреждений. - Пермь: , Изд-во ПГТУ, , 2000. - (Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов : учебное пособие для вузов : в 3 ч.; Ч. 1).	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks40769">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks40769</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва: Машиностроение, 2004.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks68550">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks68550</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Метод конечных элементов : учебное пособие для втузов / П. М. Варвак [и др.]. - Киев: Вища шк., 1981.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks131088">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks131088</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

### 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS ( лиц. 444632 ЦВВС)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Электронно-библиотечная система ЮРАЙТ	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Ноутбук	1
Лекция	Проектор	1

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Практическое занятие	Компьютер	12

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

Описан в отдельном документе

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

(фонд оценочных средств)

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**«Цифровые технологии проектирования и прочностного анализа»**

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Экспериментальная механика
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	Дифференцированный зачет

**Оценочные материалы** (фонд оценочных средств) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливаются формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (1-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля			
	Текущий		Промежуточный / рубежный	Итоговый
		ТО		
<b>Усвоенные знания</b>				
З.1 знать существующие подходы и алгоритмы численного моделирования процессов деформирования и разрушения		ТО		ТВ
<b>Освоенные умения</b>				
У.1 уметь проводить компьютерное моделирование механического поведения материалов в пакетах прикладных вычислительных программ			КИЗ 1,2	ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>				
В.1 владеть навыками постановок краевых задач и их численной реализации в пакетах прикладных вычислительных программ			КИЗ 1,2	КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной (практической) работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КИЗ – комплексное индивидуальное задание на самостоятельную работу; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая по результатам текущего, промежуточного и рубежного контроля.

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

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования

заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме.

Результаты по 5-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Промежуточный и рубежный контроль**

Промежуточный и рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме комплексного индивидуального задания (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

Перечень типовых комплексных индивидуальных заданий для проверки умений и владений представлен в приложении 1.

## **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

### **2.3.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет по дисциплине основывается на результатах текущего, промежуточного и рубежного контроля по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

#### **2.3.2.1. Типовые вопросы и задания для дифференцированного зачета по дисциплине**

##### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Плоское напряжённое и плоское деформированное состояния
2. Ферменный (одномерный) конечный элемент. Реализация в ANSYS.
3. Основные файлы ANSYS.
4. Структура программы ANSYS.
5. Общие сведения о методе конечных элементов (МКЭ).

##### **Типовые практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Найти коэффициент концентрации напряжений.
2. Определить геометрические характеристики поперечных сечений.

##### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Провести моделирование потери устойчивости сжатого стержня.
2. Анализ напряженно-деформированного состояния рамы.

#### **2.3.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче дифференцированного зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

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

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

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при дифференцированном зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 5-ти балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференцированного зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

## Приложение 1.

### Типовые комплексные индивидуальные задания для проверки умений и владений

#### Задание № \_\_.

Проверяемые результаты обучения:  $y1$ ;  $v1$

Задание. Внимательно прочитайте текст задания и выполните расчет средствами ANSYS Mechanical APDL.

#### Критерии оценки комплексных заданий

**Оценка «пять» ставится, если обучающийся понимает суть задания, правильно определил путь решения, сумел проанализировать полученные результаты.**

**Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть задания, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.**

**Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в задаче, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения задачи.**

**Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной задачи, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.**

**Задание 1.** Построить эпюру внутренних изгибающих и крутящих моментов в стержнях рамы (рисунок 1), состоящей из трех прямых стержней и нагруженной распределенной силой  $q$ .

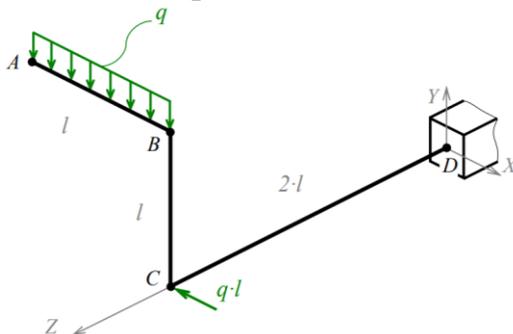


Рисунок 1. Расчетная схема рамы.

**Задание 2.** Найти критическую силу первой формы потери устойчивости, коэффициент приведения длины сжатого стержня (рисунок 2).

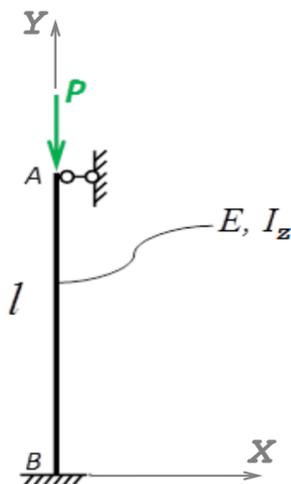


Рисунок 2. Схема нагружения стержня.