

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

« 08 » ноября 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Вычислительная механика  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 216 (6)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Материаловедение и технологии материалов (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины – дать студентам знания, умения и навыки, необходимые для последующего изучения разделов МДТТ (теория упругости, теория пластичности и вязкоупругости), механики композитов и решения задач МДТТ с использованием аналитических и численных методов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение теоретических основ аналитических и численных методов решения краевых задач для уравнений математической физики;
- изучение методов решения вариационных задач МДТТ;
- приобретение навыков численного моделирования методами МДТТ (метод конечных элементов).

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- уравнения математической физики и вариационное исчисление;
- Прямые методы решения краевых и вариационных задач;
- вариационные принципы механики;
- метод конечных элементов в перемещениях

### 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-1.2	ИД-1ПК-1.2	Знать: – основные уравнения математической физики, аналитические и численные методы решения краевых задач математической физики; – основы вариационного исчисления; – методы решения вариационных задач; – основы метода конечных элементов в перемещениях.	Знает основные закономерности протекания химических процессов и гетерогенных взаимодействий, законы физикохимии конденсированного состояния, свойства основных типов матриц, волокон, границ раздела и схемы армирования композиционных материалов, особенности физико-химических процессов при создании и деформировании композиционных материалов	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать явную и неявную схему метода конечных разностей для решения уравнений теплопроводности (диффузии);</li> <li>– решать вариационные задачи с использованием метода Рунге;</li> <li>– строить матрицы градиентов и упругих постоянных анизотропных тел для одномерного, плоского, объемного и осесимметричного напряженного состояния, состояния плоской деформации и обобщенной плоской деформации;</li> <li>– строить матрицы жесткости конечных элементов и векторы обобщенных сил, учитывая вклад начальных напряжений и деформаций, изменение температуры, вклад распределенных и сосредоточенных нагрузок.</li> </ul>	<p>Умеет выполнять термодинамические расчеты, описывать кинетику химических процессов, применять основные законы и теории физического материаловедения в экспериментальных исследованиях и профессиональной деятельности;</p> <p>прогнозировать упругие и прочностные свойства квазиизотропных однонаправленно армированных композитов, композитов слоистой структуры, объемно-армированных композитов и статистических смесей</p>	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками составления уравнений Эйлера, Эйлера-Пуассона и Остроградского для вариационных задач с неподвижными границами;</li> <li>– навыками реализации явной и неявной схем метода конечных разностей;</li> <li>– навыками интегрирования функций формы треугольных и тетраэдральных элементов;</li> <li>– навыками построения систему уравнений для</li> </ul>	<p>Владеет навыками использования методов физической химии, физического материаловедения к описанию, анализу и экспериментальному исследованию физических и химических систем, процессов и явлений</p>	Отчёт по практическом у занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		узлового ансамбля (дискретизованного тела) и учитывать граничные условия в перемещениях и напряжениях.		

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	95	46	49
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	31	14	17
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	56	28	28
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	121	62	59
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет	9		9
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108

### 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
5-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
Математические основы методов исследования структуры и свойств композиционных материалов	14	0	28	62
Введение. Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Тема 1. Уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений второго порядка с частными производными. Канонический вид. Постановка линейных краевых задач. Начальные и граничные условия. Корректность постановки краевых задач. Аналитические и численные методы решения краевых задач математической физики (метод Даламбера, метод разделения переменных, метод конечных разностей, метод Галеркина). Тема 2. Основы вариационного исчисления. Функционал. Вариация. Основная лемма вариационного исчисления. Вариационные задачи с неподвижными границами. Система уравнений Эйлера. Уравнения Эйлера–Пуассона и Остроградского. Вариационный принцип Остроградского–Гамильтона. Прямые методы решения вариационных задач (конечноразностный метод Эйлера, метод Рунге). Достаточные условия экстремума. Условия слабого и сильного экстремума				
ИТОГО по 5-му семестру	14	0	28	62
7-й семестр				
Численные методы решения краевых задач механики деформируемого твердого тела (МДТТ)	17	0	28	59
Тема 3. Постановка краевых задач МДТТ. Постановка краевых задач теории упругости анизотропных сред в перемещениях и напряжениях. Уравнения Навье, Бельтрами; фундаментальное решение Кельвина, Тензор Кельвина-Соммильяны и тензор Грина бесконечной однородной анизотропной сплошной среды; граничные условия в перемещениях (первого рода), напряжениях (второго рода) и контактного типа (третьего рода); Тема 4. Вариационные принципы механики. Возможные (виртуальные) перемещения, деформации и напряжения, возможная (виртуальная) работа. Принцип возможной (виртуальной) работы. Принципы возможных (виртуальных) перемещений и сил, принципы стационарности потенциальной энергии и дополнительной энергии. Расширенные функционалы Рейснера и Васидзу. Тема 5. Решение краевых задач МДТТ методом				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>конечных элементов (МКЭ) и методом суперэлементов.</p> <p>Общая схема решение краевых задач МДТТ прямыми методами. Понятие о конечном элементе (КЭ). Принципы, алгоритмы и методы дискретизации плоских и пространственных областей на конечные элементы. Функции формы. Классификация КЭ по виду аппроксимации неизвестных функций.</p> <p>Геометрические соотношения. Производные функций формы. Матрицы градиентов и упругих постоянных анизотропных сред. Вывод разрешающих соотношений МКЭ в перемещениях.</p> <p>Учет анизотропии и разориентации. Построение глобальной матрицы жесткости дискретизованного тела. Вычисление глобальных векторов узловых сил.</p> <p>Учет кинематических граничных условий и граничных условий контактного типа. Обобщенная матрица жесткости. Вывод достаточного условия устойчивости объединенной механической системы (деформируемое тело и нагружающая система).</p> <p>Принципы и методы построения суперэлементов</p>				
ИТОГО по 7-му семестру	17	0	28	59
ИТОГО по дисциплине	31	0	56	121

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Решение основных уравнений математической физики. Волновое уравнение. Уравнение Лапласа.
2	Уравнения математической физики в ортогональных криволинейных координатах.
3	Численная реализация явной и неявной схем метода конечных разностей при решении уравнений теплопроводности (диффузии) в пакете символьных вычислений Mathematica Professional Version.
4	Решение уравнений математической физики методами Даламбера и разделения переменных аналитически и с использованием пакета символьных вычислений Mathematica Professional Version.
5	Составление уравнений Эйлера, Эйлера-Пуассона и Остроградского для вариационных задач с неподвижными границами.
6	Прямые методы решения краевых задач. Численная реализация метода Галеркина для приближенного решения дифференциальных уравнений в пакете символьных вычислений Mathematica Professional Version.
7	Решение вариационных задач с использованием метода Рунге с использованием пакета символьных вычислений Mathematica Professional Version.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
8	Вывод функций формы и построение естественных координат для треугольных и тетраэдральных элементов. Методы интегрирования функций формы в пакете символьных вычислений Mathematica Professional Version.
9	Построение матриц градиентов и упругих постоянных анизотропных (ортотропных, трансверсально-изотропных, изотропных сред и тел с кубической симметрией) сред для осесимметричного и плоско напряженного состояния, плоской деформации и обобщенной плоской деформации
10	Вывод разрешающих соотношений МКЭ в перемещениях. Учет анизотропии и разориентации. Построение глобальной матрицы жесткости дискретизованного тела.
11	Вычисление глобальных векторов узловых сил. Учет кинематических граничных условий и граничных условий контактного типа.

## 5. Организационно-педагогические условия

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

<p>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.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием и интерактивного обучения: 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. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
---

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

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.</li> <li>2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.</li> <li>3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.</li> <li>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.</li> </ol>
---

## 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	Кузьмин М.А. Решение задач механики методом конечных элементов : учебное пособие для вузов / М.А. Кузьмин, Д.Л. Лебедев, Б.Г. Попов. - М.: Академкнига, 2008.	10
2	Соловейчик Ю.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач : учебное пособие / Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.	5
3	Суходоева А. А. Конечные элементы в строительной механике : учебное пособие / А. А. Суходоева. - Москва: Изд-во ПГТУ, 2006.	22
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бабушка И. Численные процессы решения дифференциальных уравнений : пер. с англ. / И. Бабушка, Э. Витасек, М. Прагер. - Москва: Мир, 1969.	3
2	Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. - Москва: Наука, 1983.	10
3	Боровков А. А. Математическая статистика: Оценка параметров. Проверка гипотез : учебное пособие для вузов / А. А. Боровков. - Москва: Наука, 1984.	13
4	Бреббия К. Методы граничных элементов : пер. с англ. / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. - Москва: Мир, 1987.	9
5	Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности : пер. с англ. / К. Васидзу. - М.: Мир, 1987.	7
6	Джордж А. Численное решение больших разреженных систем уравнений : пер. с англ. / А. Джордж, Дж. Лю. - Москва: Мир, 1984.	5
7	Ермаков С. М. Статистическое моделирование : учебное пособие для вузов / С. М. Ермаков, Г. А. Михайлов. - Москва: Наука, 1982.	8
8	Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. К. Зенкевич. - Москва: Мир, 1975.	1
9	Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела : пер. с англ. / С. Крауч, А. Старфилд. - М.: Мир, 1987.	15
10	Самогин Ю. Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов : учебное пособие для вузов / Ю. Н. Самогин, В. Е. Хроматов, В. П. Чирков. - Москва: Физматлит, 2012.	3
11	Сегерлинд Л. Д. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Д. Сегерлинд. - Москва: Мир, 1979.	12
12	Тихонов А.Н. Уравнения математической физики : учебник для вузов / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. - Москва: Изд-во МГУ, Наука, 2004.	82
13	Хейгеман Л. Прикладные итерационные методы : пер. с англ. / Л. Хейгеман, Д. Янг. - Москва: Мир, 1986.	4
<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	Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности : пер. с англ. / К. Васидзу. - М.: Мир, 1987.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7087">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7087</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. К. Зенкевич. - Москва: Мир, 1975.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2087">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2087</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела : пер. с англ. / С. Крауч, А. Старфилд. - М.: Мир, 1987.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks131113">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks131113</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Дополнительная литература	Сегерлинд Л. Д. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Д. Сегерлинд. - Москва: Мир, 1979.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2168">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2168</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Основная литература	Суходоева А. А. Конечные элементы в строительной механике : учебное пособие / А. А. Суходоева. - Москва: Изд-во ПГТУ, 2006.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2556">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2556</a>	локальная сеть; свободный 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	Mathematica Professional Version (лиц. L3263-7820*)
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

#### 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 Springer Nature e-books	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://jwww.springerprotocols.com/">http://jwww.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных Wiley Journals	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.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>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Маркерная доска	1
Лекция	Парты	25
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	27

#### 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»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Вычислительная механика»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Материаловедение и технологии материалов (общий профиль, СУОС)
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Бакалавр»
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс:</b> <u>3,4</u>	<b>Семестр(-ы):</b> <u>5,7</u>
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	6 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	<u>216</u> ч
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Дифференцированный зачет - 5 семестр	
Зачет – 7 семестр	

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает 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 двух семестров (5-го и 7-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 зачета. 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		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Зачёт
<b>Усвоенные знания</b>						
3.1 Знать классификацию линейных дифференциальных уравнений второго порядка с частными производными, их канонический вид		КЗ		КР1		ПЗ
3.2 Знать основы вариационного исчисления		КЗ		КР2		ПЗ
3.3. Знать постановки краевых задач теории упругости анизотропных сред в перемещениях и напряжениях, знать уравнения Навье, Бельтрами; фундаментальное решение Кельвина, тензор Кельвина-Соммильяны и тензор Грина бесконечной однородной анизотропной сплошной среды		КЗ		КР3		ПЗ
3.4. Знать вариационные принципы механики		КЗ		КР4		ПЗ
3.5. Знать основы метода конечных элементов и метода суперэлементов решения краевых задач механики деформируемого твердого тела		КЗ		КР5		ПЗ
<b>Освоенные умения</b>						
У.1 Уметь формулировать постановку линейных				КР1		ПЗ

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Зачёт
краевых задач, начальные и граничные условия, оценивать корректность постановки краевых задач						
<b>У.2</b> Уметь решать вариационные задачи с неподвижными границами, составлять систему уравнений Эйлера, уравнения Эйлера–Пуассона и Остроградского, уметь использовать вариационный принцип Остроградского–Гамильтона				КР2		ПЗ
<b>У.3.</b> Уметь формулировать постановки краевых задач теории упругости анизотропных сред в перемещениях и напряжениях с граничными условиями в перемещениях (первого рода), напряжениях (второго рода) и контактного типа (третьего рода)				КР3		ПЗ
<b>У.4.</b> Уметь записывать расширенные функционалы типа Рейснера и Васидзу				КР4		ПЗ
<b>У.5.</b> Уметь выводить разрешающие соотношения метода конечных элементов в перемещениях, учитывать анизотропию и такстуру, уметь строить глобальные матрицы жесткости дискретизованного тела, уметь учитывать кинематических граничных условия и граничные условия контактного типа				КР5		ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> Владеть навыками аналитического и численного решения краевых задач математической физики (метод Даламбера, метод разделения переменных, метод конечных разностей, метод Галеркина)				КР1		ПЗ
<b>В.2</b> Владеть навыками решения вариационных задач прямыми методами (конечноразностный метод Эйлера, метод Рунге), владеть навыками применять достаточные условия экстремума				КР2		ПЗ
<b>В.3</b> Владеть навыками построения тензоров Кельвина-Соммильяны и тензор Грина бесконечной однородной анизотропной сплошной среды				КР3		ПЗ
<b>В.4</b> Владеть навыками формулировки принципа возможной (виртуальной) работы и его следствий				КР4		ПЗ
<b>В.5</b> Владеть навыками построения матриц для конечных элементов и суперэлементов				КР5		ПЗ

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

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

## **2. 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 обучающегося 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 собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-х балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Рубежная контрольная работа**

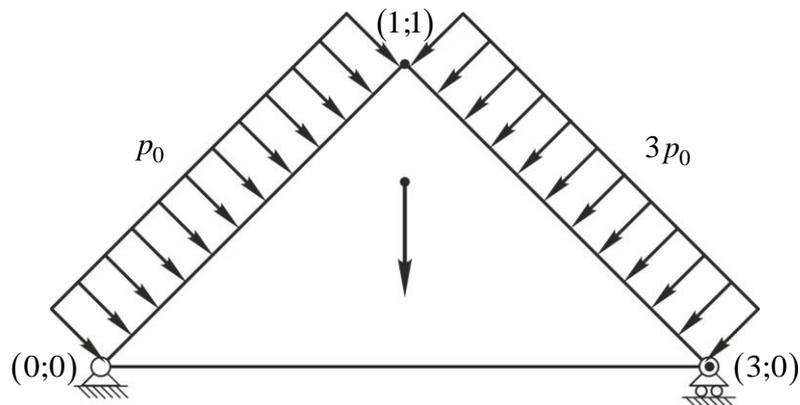
Согласно РПД запланировано 5 рубежных контрольных работ (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины: первая КР по модулю 1 «Уравнения математической физики», вторая КР – по модулю 2 «Основы вариационного исчисления», третья КР – по модулю 3 «Постановка краевых задач механики деформируемого твердого тела», четвертая КР – по модулю 4 «Вариационные принципы механики», пятая КР – по модулю 5 «Решение краевых задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов (МКЭ) и методом суперэлементов».

**Типовые задания второй КР:**

1. Исследовать на экстремум функционал

$$F[y(x)] = \int_0^1 \left[ 2y^2 \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + y^2 + xy \right] dx \text{ при } y(0) = 0 \text{ и } y(1) = 2;$$

2. Найти экстремали функционала



$$F[y(x)] = \int_{x_0}^{x_1} \left[ x \left( \frac{dy}{dx} \right) + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right] dx$$

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

#### Типовой вариант комплексного индивидуального задания КЗ:

Выполнив дискретизацию элемента конструкции, изготовленного из ортогонально анизотропного материала ( $E_1 = 4,6 \cdot 10^4$  МПа,  $E_2 = 2,6 \cdot 10^4$  МПа,  $G_{12} = 5,0 \cdot 10^3$  МПа и  $\nu_{12} = 0,2$ ) и находящегося в условиях плоской деформации, на 4 треугольных симплекс-элемента, построить систему уравнений метода конечных элементов в перемещениях (системы для узлового ансамбля). Координаты вершин — в метрах, толщина — 1 м;  $\sigma_{12}^0 = \sigma_{22}^0 = 1,2$  МПа,  $p_0 = 0,1$  МПа,  $u^0 = 10^{-4}$  м и  $\gamma = 2,4$  г/см<sup>3</sup>

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.

### 2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех контрольных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

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

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

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

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

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде 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.

##### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

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

1. Постановка краевых задач теории упругости анизотропных сред в перемещениях. Уравнения Навье и Ламе;
2. Постановка краевых задач теории упругости анизотропных сред в напряжениях. Уравнения Бельтрами;
3. Постановки краевых задач теории упругости анизотропных сред в перемещениях и напряжениях. Граничные условия в перемещениях (первого рода) и напряжениях (второго рода);
4. Вариационные принципы механики. Возможные (виртуальные) перемещения, силы, деформации и напряжения, возможная (виртуальная) работа. Принцип возможной (виртуальной) работы;
5. Вариационные принципы механики. Принцип возможных (виртуальных) перемещений;
6. Вариационные принципы механики. Принцип возможных (виртуальных) сил;

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

1. Построение матрица связности и запись матричной формы функционала полной потенциальной энергии треугольного симплекс-элемента и дискретизованного тела;

2. Построение матрицы узлового ансамбля (глобальной матрицы жесткости) для дискретизованного линейно упругого тела и глобального вектора узловых сил, Учет кинематических граничных условий методами «подавления» и исключения

### **Типовое задание для контроля приобретенных владений:**

1. Найти методом Рунге приближенное решение задачи для о минимуме функционала  $F[y(x)] = \int_0^2 \left[ \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + y^2 + 2xy \right] dx$  при  $y(0) = y(2) = 0$  и сравнить его с аналитическим решением

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на 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 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 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 4-х 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 зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.