

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

« 07 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Уравнения математической физики  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 180 (5)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива (СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является подготовка специалиста к будущей научно-технической и научно-исследовательской деятельности, связанной с проведением теоретических исследований в области физических процессов при разработке двигателей летательных аппаратов.

Задачами дисциплины являются

- изучение теоретических основ разработки и решения математических моделей для физических задач в виде дифференциальных уравнений в частных производных;
- формирование умения определять тип уравнения и выбирать метод его решения;
- формирование навыков разработки математической модели для физической задачи в виде дифференциального уравнения в частных производных.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Волновое уравнение, уравнение теплопроводности, уравнение диффузии, уравнения Лапласа, канонический вид, начальные условия, граничные условия, смешанные условия, ортогональность функций, метод разделения переменных, функции Бесселя, функции Лежандра, анализ решения.

### 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
ОПК-1	ИД-1ОПК-1	Знание типов уравнений математической физики, применяемых в области естественнонаучных и инженерных дисциплин, их классификации и методов решения.	Знает теорию, основные законы и методы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин.	Контрольная работа
ОПК-1	ИД-2ОПК-1	Умение применять методы математического анализа и моделирования для решения физических задач в профессиональной деятельности.	Умеет применять методы математического анализа и моделирования для решения инженерных задач профессиональной деятельности.	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-1	ИД-3ОПК-1	Владение навыками разработки теоретических решений физических задач применительно к объектам профессиональной деятельности.	Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности.	Контрольная работа
ОПК-5	ИД-1ОПК-5	Знание методов разработки и решения математических моделей физических процессов и явлений, относящихся к профессиональной деятельности.	Знает методы разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности.	Контрольная работа
ОПК-5	ИД-2ОПК-5	Умение разрабатывать математические модели физических процессов и явлений применительно к решению инженерных задач.	Умеет разрабатывать и использовать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов для решения инженерных задач.	Контрольная работа
ОПК-5	ИД-3ОПК-5	Владение навыками решения уравнений математической физики, используемых в профессиональных задачах в области авиационной и ракетно-космической техники.	Владеет навыками решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической технике современными методами.	Контрольная работа

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	23	23	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	45	45	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	72	72	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

### 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				
Вывод некоторых уравнений математической физики	7	0	8	14
Введение. Цели и задачи дисциплины, структура курса, рекомендуемая литература. Тема 1. Вывод волнового уравнения. Поперечные колебания струны. Крутильные колебания стержня. Продольные колебания газа в движущейся среде. Тема 2. Вывод уравнений теплопроводности и диффузии. Теплопроводность тонкого стержня. Диффузия в движущейся среде. Тема 3. Примеры других уравнений математической физики. Уравнения в полярной, цилиндрической и сферической системах координат. Уравнения Гельмгольца, Максвелла, Шредингера, Лапласа, Пуассона.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Классификация и анализ уравнений математической физики	5	0	8	10
Тема 4. Классификация уравнений математической физики и отличия их решений от обыкновенных дифференциальных уравнений. Классификация уравнений математической физики. Отличия решений уравнений математической физики от обыкновенных дифференциальных уравнений. Классификация граничных и начальных условий. Тема 5. Приведение основных уравнений математической физики к каноническому виду. Волновое уравнение. Уравнения теплопроводности и диффузии. Уравнение Лапласа.				
Решения уравнений математической физики	11	0	29	48
Тема 6. Решение волнового уравнения. Бесконечная струна. Струна конечной длины. Прямоугольная мембрана. Круглая мембрана. Тема 7. Решение уравнений теплопроводности и диффузии. Бесконечный тонкий стержень. Тонкий стержень конечной длины. Однородный цилиндр. Тема 8. Решение уравнения Лапласа. Задача Дирихле для круга. Задача Дирихле для шара.				
ИТОГО по 5-му семестру	23	0	45	72
ИТОГО по дисциплине	23	0	45	72

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Оператор Лапласа в полярных, цилиндрических и сферических координатах.
2	Ортогональность функций.
3	Функции Бесселя. Вывод. Исследование свойств.
4	Функции Лежандра. Вывод. Исследование свойств.
5	Численное решение нелинейных уравнений.
6	Численное решение систем линейных и нелинейных уравнений.
7	Численное дифференцирование и интегрирование.
8	Нахождение характеристических чисел при наличии в решении функций Бесселя.
9	Численное решение дифференциальных уравнений в частных производных.
10	Решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа методом конечных разностей.
11	Решение смешанной задачи для уравнения гиперболического типа методом конечных разностей.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
12	Решение смешанной задачи для уравнения параболического типа методом конечных разностей.
13	Решение смешанной задачи для уравнения упругих колебаний методом конечных разностей.

## 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	Араманович И. Г. Уравнения математической физики : учебное пособие для втузов / И. Г. Араманович, В. И. Левин. - Москва: Альянс, 2016.	11

2	Тихонов А.Н. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов / А.Н.Тихонов, А.А.Самарский А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. - М.: Изд-во МГУ, 1999.	33
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Власова Е. А. Приближенные методы математической физики : учебник для вузов / Е. А. Власова, В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.	11
2	Плис А. И. Лабораторный практикум по высшей математике : учебное пособие для вузов / А. И. Плис, Н. А. Сливина. - Москва: Высш. шк., 1994.	65
3	Самарский А. А. Численные методы математической физики : учебное пособие / А. А. Самарский, А. В. Гулин. - Москва: Науч. мир, 2003.	11
<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	Лялькина Г. Б. Элементы математической физики. – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013	<a href="http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=286">http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=286</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Первадчук В. П., Кадырова Е. М., Соколов В. Ю. Уравнения математической физики: методы решения задач. – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2001	<a href="http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=2956">http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=2956</a>	сеть Интернет; свободный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

Вид ПО	Наименование ПО
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 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 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>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	<a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</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	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	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**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Уравнения математической физики»**

---

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Специальность:</b>	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
<b>Специализация программы специалитета</b>	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
<b>Квалификация выпускника:</b>	инженер
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
<b>Форма обучения:</b>	очная

**Курс:** 3 **Семестр(ы):** 5

**Трудоёмкость:**  
Кредитов по рабочему учебному плану: 5 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 180 ч

**Форма промежуточной аттестации:**  
Экзамен: 5 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Уравнения математической физики». 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 5-го семестра учебного плана и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические 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, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала и сдаче отчетов по лабораторным работам. 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		Промежуточный
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>					
3.1 знать подходы, применяемые для вывода уравнений математической физики		ТО1		КР1	ТВ
3.2 знать классификацию уравнений математической физики		ТО2		КР2	ТВ
3.3 знать отличия решений уравнений математической физики от обыкновенных дифференциальных уравнений		ТО2		КР2	ТВ
3.4 знать классификация граничных условий.		ТО2		КР2	ТВ
3.5 знать основные методы решения уравнений математической физики		ТО3		КР3	ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
У.1 уметь выполнять вывод волнового уравнения для различных постановок (продольные колебания, поперечные колебания, одномерные колебания, двумерные колебания, колебания в декартовой системе координат, колебания в полярной системе координат)		ПЗ1		КР1	ПЗ
У.2 уметь выполнять вывод уравнений теплопроводности и диффузии для различных постановок (продольные колебания, поперечные колебания, одномерные колебания, двумерные колебания, колебания в декартовой системе координат, колебания в полярной системе координат)		ПЗ1		КР1	ПЗ

У.3 уметь исследовать свойства функций Бесселя и Лежандра, применяемых в аналитических решениях уравнений математической физики		ПЗ2 ПЗ3 ПЗ4 ПЗ8		КР2	
У.4 уметь выполнять численное решение нелинейных уравнений и систем линейных и нелинейных уравнений		ПЗ5 ПЗ6		КР4	ПЗ
У.5 уметь выполнять численное дифференцирование и интегрирование		ПЗ7		КР5	ПЗ
У.6 уметь выполнять численное решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей		ПЗ9 ПЗ10 ПЗ11 ПЗ12 ПЗ13		КР6	ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>					
В.1 владеть навыками аналитического решения волнового уравнения		ПЗ2 ПЗ3 ПЗ4		КР3	КЗ
В.2 владеть навыками аналитического решения уравнений теплопроводности и диффузии		ПЗ2 ПЗ3 ПЗ4		КР3	КЗ
В.3 владеть навыками аналитического решения уравнения Лапласа		ПЗ2 ПЗ3 ПЗ4		КР3	КЗ

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

Итоговыми оценками достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимого с учетом 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 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 собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-бальной 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, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 4 лабораторные работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 6 рубежных контрольных работ (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины: КР 1 – по модулю 1 «Вывод некоторых уравнений математической физики», КР 2, 3 – по модулю 2 «Классификация и анализ уравнений математической физики», КР 4, 5, 6 – по модулю 3 «Решения уравнений математической физики».

#### **Типовые задания КР:**

1. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных.
2. Основные этапы решения дифференциального уравнения в частных производных методом разделения переменных.
3. Записать частное решение уравнения теплопроводности для тонкого бесконечного стержня с теплоизолированной боковой поверхностью.

4. Записать формулу трапеций для численного интегрирования. Ответ сопроводить рисунком с пояснениями.

5. Перечислить итерационные численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.

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

### **2.3. Промежуточная аттестация**

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

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам.

Экзаменационный 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. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине**

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

1. Основные допущения, принимаемые при выводе волновых уравнений.
2. Вывод уравнения теплопроводности.
3. Решение волнового уравнения для бесконечной струны.
4. Решения системы нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона.
5. Задача Дирихле для круга: постановка, решение.

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

1. Вывести уравнение продольных колебаний стержня, если концы стержня не закреплены.
2. Вывести уравнение диффузии газа в подвижной среде.
3. Определить, чему равен нормировочный коэффициент в решении волнового уравнения для прямоугольной мембраны со сторонами 0.2x0.4 м

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

1. Провести анализ с целью определения, к какому виду относится уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \sin x \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + (2 - \cos^2 x) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0.$$

2. Выбрать шаблон аппроксимации производных и представить конечно-разностную схему решения уравнения  $(1+x^2)^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 2x(1+x^2) \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ .

3. Определить первые три частоты собственных продольных колебаний стержня с жестко закрепленными концами, если длина стержня равна 0,5 м, модуль упругости материала стержня 200 ГПа, плотность материала стержня 7700 кг/м<sup>3</sup>.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-бальной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

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

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

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

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

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

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-бальной 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 экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.



**пермский  
политех**  
МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГАОУ ВО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический  
университет» (ПНИПУ)

**Специальность**  
24.05.02 «Проектирование авиационных и  
ракетных двигателей»  
**Специализация**  
Проектирование ракетных двигателей твердого  
топлива  
**Кафедра**  
«Ракетно-космическая техника и  
энергетические системы»  
«Уравнения математической физики»

**БИЛЕТ № 1**

1. Классификация уравнений математической физики (*контроль знаний*).
2. Вывод уравнения крутильных колебаний стержня (*контроль умений*).
3. Решить одномерное волновое уравнение при следующих условиях:

$$\begin{cases} u(x,0) = 0; \\ u(l,0) = 0; \\ u(x,0) = \sin(\pi x/l) + 0,5 \sin(3\pi x/l); \\ u_t(x,0) = 0, \end{cases}$$

где  $0 \leq x \leq l$ ,  $0 \leq t \leq \infty$  (*контроль умений и владений*).

Составитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Пальчиковский В.В.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

Соколовский М.И.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ г.