

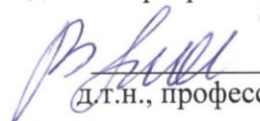


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель программы аспирантуры

 В.Ф. Макаров  
д.т.н., профессор кафедры ИТМ

« 20 » « мая » 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры  
«Математическое моделирование процессов в машиностроении»**

<b>Научная специальность</b>	2.5.6. Технология машиностроения
<b>Направленность (профиль) программы аспирантуры</b>	Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств
<b>Выпускающая(ие) кафедра(ы)</b>	Инновационные технологии машиностроения (ИТМ) Механика композиционных материалов и конструкций (МКМК)
<b>Форма обучения</b>	Очная
<b>Курс: 2</b>	<b>Семестр (ы): 3</b>
<b>Виды контроля с указанием семестра:</b>	
Экзамен:	Зачет: 3 Диф.зачет

Пермь 2022

## **1. Общие положения**

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование процессов в машиностроении» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

**1.1 Цель учебной дисциплины** – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области по моделированию процессов для обеспечения качества при создании и производстве новых продуктов.

### **1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Математическое моделирование процессов в машиностроении» является дисциплиной по выбору образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.5.6. - Технология машиностроения.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

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

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

### **Знать:**

- основные виды моделирования машин и механизмов, их возможности, преимущества и недостатки;
- основные методы разработки математической модели объекта (метод прямой аналогии, метод конечных элементов);
- методы анализа статики и динамики объекта по математическим моделям.

### **Уметь:**

- выбирать методы разработки математической модели машины (механизма) и ее анализа, позволяющие решить задачу повышения производительности, долговечности и надежности, технологичности и низкой материалоемкости;
- получать математическую модель технологического оборудования и процессов методом конечных элементов и методом прямой аналогии;
- проводить анализ динамического качества технологического оборудования и процессов по математической модели на ЭВМ.

### Владеть:

- приемами формализации свойств изучаемого объекта для получения новой информации о нем в результате вычислительного эксперимента с помощью ЭВМ;
- навыками анализа статики и динамики технологического оборудования и процессов по математической модели на ЭВМ.

### 3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		3 семестр
1	Аудиторная работа	39
	В том числе:	
	Лекции (Л)	-
	Практические занятия (ПЗ)	32
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	7
	Самостоятельная работа (СР)	69
	Форма итогового контроля:	Зачет

### 4. Содержание учебной дисциплины

#### 4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

##### Раздел 1. Задачи математического моделирования в машиностроении

(Л – 0, ПЗ – 0, СР – 9)

Тема 1. Виды математических моделей и моделирования.

Тема 2. Общее представление о динамическом качестве.

##### Раздел 2. Разработка математических моделей

(Л – 0, ПЗ – 14, СР – 16)

Тема 3. Уровни моделирования.

Тема 4. Разработка математической модели макроуровня на основе уравнения Лагранжа и принципа Д'Аламбера.

Тема 5. Разработка математической модели макроуровня методом прямой аналогии.

##### Раздел 3. Анализ математических моделей

(Л – 0, ПЗ – 10, СР – 20)

Тема 6. Статические и динамические характеристики качества технологического оборудования

Тема 7. Анализ статики системы технологического оборудования.

Тема 8. Анализ динамики системы технологического оборудования.

Тема 9. Анализ динамики автоколебаний системы.

##### Раздел 4. Особенности исследования областей технологии машиностроения

(Л – 0, ПЗ – 8, СР – 24)

Тема 10. Моделирование механических процессов.

Тема 11. Моделирование тепловых процессов.

Тема 12. Моделирование гидравлических процессов.

Тема 13. Моделирование процессов резания.

Тема 14. Моделирование качества поверхностного слоя после механической обработки.

#### 4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	3, 4, 5,10.	Разработка математической модели системы конвейера	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	3, 4, 5,12	Разработка математической модели гидросуппорта ГСП-41 и его статический анализ.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	6, 8, 9,13.	Теоретическое исследование динамики привода главного движения на основе метода прямой аналогии.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	5, 6, 7,12	Анализ качества очистки каналов корпусной детали	Собеседование.	Вопросы по темам / разделам дисциплины.

#### 4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Классификация математических моделей. Требования к математическим моделям. Особенности моделирования процессов и оборудования. Основные этапы разработки математических моделей.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Основные показатели качества технологического оборудования. Основные элементы динамической системы технологического оборудования, их взаимодействие. Модели рабочих процессов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	3	Этапы создания нового продукта. Микроуровень, макроуровень, метауровень моделирования процессов в технологическом оборудовании.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

4	4	Разработка расчетных схем, составление системы уравнений на основе уравнения Лагранжа, прямой и обратный метод составления уравнений на основе принципа Д'Аламбера.	Творческое задание	Темы творческих заданий
5	5	Построение механической цепи, элементы механической цепи. Построение эквивалентной схемы, элементы эквивалентной схемы Компонентные уравнения элементов эквивалентной схемы и их аналоги в разнородных подсистемах. Составление топологических уравнений по эквивалентной схеме с помощью законов Ома, методом узловых потенциалов и методом контурных токов. Построение графа системы, элементы графа, построение топологических уравнений на основе информации матрицы контуров и сечений (M) и матрицы инцидентий (A).	Творческое задание	Темы творческих заданий
6	6	Собственные частоты системы, формы колебаний системы, явление резонанса, динамическая податливость системы, частотные характеристики, график переходного процесса в системе, критерии устойчивости.	Творческое задание	Темы творческих заданий
7	7	Получение уравнений статики, точные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (метод Гаусса и его разновидности, метод Крамера), приближенные методы решения нелинейных алгебраических уравнений (метод итераций, метод Ньютона).	Творческое задание	Темы творческих заданий
8	8	Решение однородной и неоднородной систем обыкновенных	Творческое задание	Темы творческих заданий

		дифференциальных уравнений. Точные, приближенные методы решений, обыкновенных дифференциальных уравнений. Компьютерные средства реализации методов решения. Операторный способ. Модальный анализ. Численные методы решения системы дифференциальных уравнений (методы Эйлера, метод Рунге-Кутты, явные и неявные методы численного решения системы дифференциальных уравнений). Частотный анализ динамики (частотные методы исследования устойчивости Гаусса, Михайлова, Гурвица, Найквиста).		
9	9	Преобразование Лапласа, перевод системы обыкновенных дифференциальных уравнений в область изображений, решение задачи в изображениях, перевод решения в область оригиналов методом разложения, собственные частоты системы, получение уравнения переходного процесса, преобразование Фурье, исследование вынужденных колебаний.	Творческое задание	Темы творческих заданий
10	10	Моделирование механических процессов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
11	11	Моделирование тепловых процессов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
12	12	Моделирование гидравлических процессов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
13	13	Моделирование процессов резания.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
14	14	Моделирование качества поверхностного слоя после механической обработки.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

## 5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Математическое моделирование процессов в машиностроении» аспирантам 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. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается 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 работы аспиранта по дисциплине

### 6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Зарубин В.С. Моделирование : учебное пособие для вузов / В. С. Зарубин .— Москва : Академия, 2013 .— 336 с.	3
2	Прикладная теория колебаний : учебное пособие / В. И. Кычкин ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет Пермь : Изд-во ПНИПУ. 2014 .— 202 с.	15+ЭБ
3	Голубева Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие для вузов / Н. В. Голубева. - Санкт-Петербург[и др.]: Лань, 2013.— 191 с.	2
4	Чикуров Н. Г. Моделирование систем и процессов : учебное пособие для вузов / Н. Г. Чикуров. - Москва: РИОР, ИНФРА-М, 2013.— 398 с.	1
5	Моделирование и прогнозирование развития технических систем машиностроения / В.П. Бахарев, А.П. Дубинин, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2015. - (Проектирование и конструирование в машиностроении : учебное пособие для вузов : в 2 ч.; Ч. 2). .— 203 с.	5
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебно-методические, научные издания</b>		
1	Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В.Н. Ашихмин [ и др.]; Под ред. П.В. Трусова. - М : Логос, 2005 .- 439 с.	52
2	Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике : учебник для вузов / В. С. Зарубин. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010.	2
3	Математическое моделирование процессов в машиностроении : учебное пособие / А. Ю. Крюков, Б. Ф. Потапов ; Пермский государственный технический университет .— Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007 . 321 с.	51+ЭБ
4	Никитин С.П. Моделирование технологического оборудования. Учебное. пособие, Перм. гос. техн. ун-т. - Пермь. 2001. - 139с.	88+ЭБ
5	Разработка математической модели гидромеханической системы методом прямой аналогии / Сост. С.П. Никитин, А.И.	28 на кафедре

<b>№</b>	<b>Библиографическое описание</b> (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	<b>Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий</b>
1	2	3
	Лурье; Методические указания к расчетной работе. - Пермский государственный технический университет. Пермь, 2005. 33 с.	
6	Анализ математической модели гидромеханической системы операторным способом: Метод, указания к расчетной работе / Никитин С.П., Лурье А.И. Методические указания к расчетной работе. - Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2005. - 23 с.	32 на кафедре
7	Теоретическое исследование динамики привода главного движения на основе метода конечных элементов и модального анализа / Никитин С.П. Методические указания к расчетной работе. - Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2005.   34 с.	42 на кафедре
8	Математическое моделирование гидромеханической системы, /сост. С.П. Никитин. Методические указания к расчетной работе. - Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2005. 20 с.	41 на кафедре
9	Теоретическое исследование динамики привода главного движения на основе метода прямой аналогии / Никитин С.П.; Методические указания к лабораторной работе. - Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2008. - 27 с.	38 на кафедре
10	Математическое моделирование гидросуппорта ГСП-41: / Сост. С.П. Никитин; Метод, указания к лабораторной работе. - ПермГТУ, Пермь, 2005, 13 с.	15 на кафедре
11	Руководство по использованию программы «ПАН»: Методические указания по использованию программы анализа динамики систем на основе метода прямой аналогии / Никитин С.П.; Методические указания к лабораторной работе. - Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2008. - 29 с.	22 на кафедре
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Математическое моделирование : журнал / Российская академия наук; Институт математического моделирования. - Москва: Наука, 1989 - .	
2	Вестник машиностроения : научно-технический и производственный журнал / Машиностроение; Вестник машиностроения. - Москва: Машиностроение, 1921 - .	
3	Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. Ю. Д. Щицына. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 - .	
4	СТИН : научно-технический журнал / СТИН .— Москва : СТИН, 1930 - . — В вузах: ПНИПУ 1996-2015 .— С 2007 г. см. на обл. : СТИН. Станки. Инструмент .— Издается с 1930 г. — Изд. с 1930 по 1988 гг. см. под загл.: Станки и инструмент .— Изд. с 1989 по 1993, № 6 (июнь) см. под загл. : СИ. Станки и инструмент. — Ежемесячное.	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
1	ГОСТ Р 57188-2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения	Техэксперт



№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
<b>2.4 Официальные издания</b>		
	Не используются	

## 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

### 6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Информационная система *Техэксперт: Интранет* [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

## 7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

### 7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютер IBM PC	13	собственность	108 к.А гл.к.

## 8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

### 8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

#### Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

### **Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

- **Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:**

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по шкале оценивания путем «зачтено», «незачтено» выборочного контроля во время зачета.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на **зачете**

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
<i>Зачтено</i>	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение <b>навыков</b> полученных знаний и <b>умений</b> при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p>
<i>Незачтено</i>	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные <b>знания</b> при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

При оценке уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций в рамках выборочного контроля при сдаче зачета считается, что полученная оценка проверяемой в билете дисциплинарной части компетенции обобщается на все дисциплинарные части компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных частей компетенций проводится с учетом результатов текущего контроля в виде интегральной оценки по системе оценивания «зачтено» и «незачтено».

Таблица 6

Оценочный лист уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций на зачете

Итоговая оценка уровня сформированности дисциплинарных частей компетенций	Критерии оценивания компетенции
<i>Зачтено</i>	Аспирант получил по дисциплине оценку «зачтено»
<i>Незачтено</i>	Аспирант получил по дисциплине оценку «незачтено»

### **9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине**

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

### **10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины**

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.6. «Технология машиностроения» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Разработка математической модели и анализ свойств транспортной системы – шагового конвейера
2. Разработка математической модели и анализ свойств погрузочно-разгрузочного устройства
3. Разработка математической модели взаимодействия устройств и оборудования в ГПМ
4. Разработка математической модели и анализ свойств металлорежущего оборудования
5. Разработка математической модели и анализ свойств процесса механической обработки конкретной детали

Типовые контрольные задания:

1. Роль прикладных исследований. Классификация математических моделей. Требования к математическим моделям.
2. Особенности моделирования процессов и оборудования.
3. Этапы прикладных исследований. Основные этапы разработки математических моделей.
4. Общее представление о динамическом качестве. Основные показатели качества технологического оборудования.
5. Основные элементы динамической системы технологического оборудования, их взаимодействие.
6. Представление о технологической системе оборудования.
7. Модели рабочих процессов.
8. Уровни моделирования. Микроуровень, макроуровень, метауровень моделирования процессов в технологическом оборудовании.
9. Разработка математической модели макроуровня на основе уравнения

Лагранжа и принципа Д'Аламбера.

10. Разработка математической модели макроуровня методом прямой аналогии.
11. Компонентные уравнения элементов эквивалентной схемы и их аналоги в разнородных подсистемах.
12. Построение графа системы, элементы графа, построение топологических уравнений на основе информации матрицы контуров и сечений (M) и матрицы инцидентий (A).
13. Собственные частоты системы, формы колебаний системы, явление резонанса, динамическая податливость системы
14. Частотные характеристики, график переходного процесса в системе, критерии устойчивости.
15. Получение уравнений статики, точные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (метод Гаусса и его разновидности, метод Крамера).
16. Приближенные методы решения нелинейных алгебраических уравнений (метод итераций, метод Ньютона).
17. Решение однородной и неоднородной систем обыкновенных дифференциальных уравнений.
18. Точные, приближенные методы решений, обыкновенных дифференциальных уравнений.
19. Компьютерные средства реализации методов решения. Операторный способ. Модальный анализ. Численные методы решения системы дифференциальных уравнений (методы Эйлера, метод Рунге-Кутты, явные и неявные методы численного решения системы дифференциальных уравнений).
20. Частотный анализ динамики (частотные методы исследования устойчивости Рауса, Михайлова, Гурвица, Найквиста).
21. Преобразование Лапласа, перевод системы обыкновенных дифференциальных уравнений в область изображений, решение задачи в изображениях, перевод решения в область оригиналов методом разложения, собственные частоты системы, Получение уравнения переходного процесса, преобразование Фурье, исследование вынужденных колебаний.
22. Особенности моделирования механических процессов.
23. Особенности моделирования тепловых процессов.
24. Особенности моделирования гидравлических процессов.
25. Особенности моделирования процессов резания.  
Особенности моделирования качества поверхностного слоя после механической обработки.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ИТМ».

Приложение 1  
Пример типовой формы экзаменационного билета

**Программа**  
Технология, оборудование и автоматизация  
машиностроительных производств

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

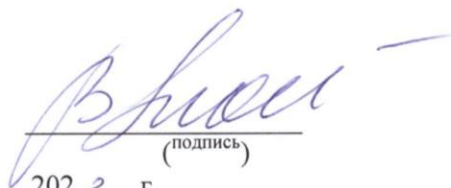
**Кафедра**  
Инновационные технологии машиностроения

**Дисциплина**  
«Математическое моделирование процессов в машиностроении»

**БИЛЕТ № 1**

1. Общее представление о динамическом качестве. Основные показатели качества технологического оборудования.
2. Разработать расчетную схему и составить систему уравнений на основе уравнения Лагранжа.

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

Карманов В.В.

« 20 » мая 202 2 г.

**Лист регистрации изменений**

<b>№ п.п.</b>	<b>Содержание изменения</b>	<b>Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой</b>
1	2	3
1		
2		
3		
4		