

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Рыбинский государственный авиационный технический  
университет имени П. А. Соловьева»

Отдел аспирантуры

*УТВЕРЖДАЮ*

Проректор по науке и инновациям

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Т. Д. Кожина

***РАБОЧАЯ ПРОГРАММА***

по дисциплине

**Основы математического моделирования технологических  
процессов в машиностроении**

(специальность 05.02.08 Технология машиностроения)

<b>Вид занятий</b>	<b>Количество часов</b>	<b>Зачётных единиц</b>
Лекционные	22	0,6
Практические	10	0,3
Самостоятельная работа	4	0,1
Всего	36	1,0
Форма контроля	экзамен	

Рабочую программу составили

д.т.н., проф. В. Ф. Безъязычный

к.т.н., доцент М. В. Тимофеев

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры технологии авиационных двигателей и общего машиностроения, протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Заведующий кафедрой

д.т.н., проф. В. Ф. Безъязычный

Рыбинск 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая программа составлена на основании федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура), утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 16 марта 2011 г. №1365, паспорта 05.02.08 «Технология машиностроения» номенклатуры специальностей научных работников, учебного плана, временных требований к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования по отрасли 05.00.00 «Технические науки» (регистрационный номер 05.00.00 ВТ ППО-2002).

*Математическое моделирование технологических процессов* является эффективным средством анализа технологии производства на предмет её возможной модернизации. Результаты математического моделирования в совокупности с данными научных исследований позволяют объективно рассматривать решение о необходимости модернизации производства или внедрении нового технологического процесса на предприятии.

*Цель изучения дисциплины:*

- повышение уровня подготовки специалистов в области создания и применения математических моделей технологических процессов, теории принятия решений, статистических методов управления процессами;
- формирование представления о месте и роли математического моделирования технологических процессов в машиностроении.

*Основные задачи дисциплины:*

- изучение видов математических моделей, анализ и синтез задач моделирования;
- применение методов математического моделирования для управления процессами, выбора и принятия технологических решений, создания интеллектуальных систем принятия решений;
- применение методов математического моделирования для исследования технологических возможностей операций механической обработки, поверхностного упрочнения деталей, сборки изделий;
- обеспечение квалифицированного использования знаний основ моделирования, аналитических, имитационных и эвристических моделей.

## 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *1.1 Введение в математическое моделирование (2 часа)*

Основные понятия моделирования. Классификация моделей. Классификация математических моделей. Этапы моделирования. Параметры качества математических моделей.

## *1.2 Математическое описание закономерностей технологических процессов (1 час)*

Общие понятия математического моделирования процессов. Объекты моделирования в машиностроительном производстве. Математическая модель объекта моделирования. Вероятностно-статистические модели. Детерминированные модели. Комбинированные модели.

## *1.3 Прямые и обратные задачи моделирования (1 час)*

Задачи прямого моделирования. Понятие и типы обратных задач. Предмет обратных задач.

## *1.4 Вероятностно-статистические модели технологических процессов (1 час)*

Задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей. Простейшие модели, основанные на законах распределения случайных величин (Бернулли, Пуассона, нормального, равной вероятности). Уравнения регрессии. Методы определения коэффициентов уравнения регрессии (наименьших квадратов, планирования эксперимента, Монте-Карло, стохастической аппроксимации).

## *1.5 Модели управления процессами (3 часа)*

Процессы сбора и регистрация данных. Описательная статистика. Диаграмма рассеяния. Гистограмма. Анализ формы гистограммы и её расположения относительно поля допуска. Доказательство гипотезы о законе распределения случайной величины. Оценка воспроизводимости процесса. Понятие налаженного процесса. Контрольные карты. Карты кумулятивных сумм. Диаграмма Парето и ABC-анализ.

## *1.6 Модели выбора и принятия технологических решений (3 часа)*

Понятие технологического решения. Теория принятия оптимальных решений. Постановка задач принятия оптимальных решений.

Принятие решений в условиях определённости. Математическое программирование. Задачи линейного программирования. Графо-аналитический метод решения. Задачи нелинейного программирования. Классический метод минимизации (максимизации) функции одной переменной. Метод равномерного перебора. Метод золотого сечения. Метод линеаризации. Метод покоординатного спуска. Методы решения многокритериальных задач оптимизации. Метод поиска Парето. Метод решения многокритериальных задач оптимизации с использованием обобщенного (интегрального) критерия.

Принятие решений в условиях риска. Критерий ожидаемого значения. Критерий наиболее вероятного исхода. Критерии предпочтения.

Принятие решений в условиях неопределенности. Критерии Лапласа, Вальда, Байеса-Лапласа, Сэвиджа, Ходжа-Лемана.

### *1.7 Автоматизация принятия технологических решений (1 час)*

Методы автоматизации принятия технологических решений. Инженерия знаний. Понятие экспертной системы. Структура экспертной системы. Функции экспертной системы. Модели представления знаний.

### *1.8 Моделирование силового взаимодействия в зоне резания при механической обработке деталей (2 часа)*

Эмпирические силовые зависимости. Порядок проведения экспериментов. Аппаратура регистрации сил резания в процессе механической обработки. Получение математических моделей. Аналитическая обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов. Объединение частных зависимостей.

### *1.9 Моделирование упругих деформаций в технологической системе (1 час)*

Понятие упругой системы СПИЗ. Схема формирования упругих перемещений и смещения элементов в технологической системе и влияния их на точность обработки. Статическая и динамическая жесткости упругой системы. Модель формирования полей рассеяния упругих перемещений в технологической системе.

### *1.10 Моделирование точности механической обработки деталей (1 час)*

Основные факторы, определяющие погрешность обработки деталей. Расчетно-аналитический метод определения точности обработки. Моделирование точности обработки деталей на основе динамических характеристик станков.

### *1.11 Моделирование управления точностью, производительностью и себестоимостью обработки деталей (1 час)*

Моделирование связей производительности и точности операций металлообработки с изменением входных параметров. Моделирование управления производительностью, себестоимостью и точностью обработки деталей на станках с ЧПУ. Адаптивные системы предельного регулирования. Адаптивные системы оптимального управления.

### *1.12 Моделирование процессов поверхностного упрочнения деталей (1 час)*

Основные методы поверхностно пластического деформирования. Расчет глубины деформационного упрочнения поверхностного слоя. Расчет приближенного значения накопленной деформации поверхностного слоя. Определение силы обкатывания. Алмазное выглаживание. Силы, возникающие при алмазном выглаживании. Трение и смазка.

### *1.13 Моделирование процессов механической обработки и сборки (3 часа)*

Системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства (CAD/CAM). Основные понятия и определения. Методы построения математических моделей.

### *1.14 Моделирование силовых расчётов конструкций (1 час)*

Системы автоматизированного инженерного анализа (САЕ). Метод конечных элементов в технике, его преимущества и недостатки.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Применение вероятностно-статистических моделей для управления технологическими процессами (2 часа)

2.2 Модели выбора и принятия технологических решений (2 часа)

2.3 Моделирование процессов сборки (2 часа)

2.4 Моделирование процессов механической обработки (2 часа)

2.5 Моделирование силовых расчётов конструкций (2 часа)

## 3 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### *Основная литература*

3.1 Суслов, А. Г. Технология машиностроения [Текст]: Учебник / А. Г. Суслов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.

3.2 Кузнецов, Б. Т. Математические методы и модели исследования операций [Текст]: Учебное пос. / Б. Т. Кузнецов. – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 390 с.

3.3 Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст] : Учебник / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 4-е изд., стер. – М: Высшая школа, 2005. – 343 с.

3.4 Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 382 с.

3.5 Аверченков, В. И. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов [Текст] : Учебное пособие / В. И. Аверченков, И. А. Каштальян, А. П. Пархутик – Минск: «Вышэйшая школа», 1993. – 288 с.

### *Дополнительная литература*

3.6 Тихонов, А. Н. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении / А. Н. Тихонов, В. Д. Кальнер, В. Б. Гласко. – М.: Машиностроение, 1990. – 263 с.

3.7 Безъязычный, В. Ф. Обеспечение показателей качества поверхностного слоя деталей ГТД и их влияние на эксплуатационные свойства: Учебно-методическое пособие / В. Ф. Безъязычный. – Рыбинск: ОАО «НПО Сатурн», 2003. – 232 с.

3.8 ГОСТ Р 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1.

Нормальное распределение // Электронный ресурс федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, <http://standard.gost.ru>.

3.9 ГОСТ Р 50779.40-96 Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение // Электронный ресурс федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, <http://standard.gost.ru>.

3.10 ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта // Электронный ресурс федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, <http://standard.gost.ru>.

3.11 ГОСТ Р 50779.45-2002 Статистические методы. Контрольные карты кумулятивных сумм // Электронный ресурс федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, <http://standard.gost.ru>

#### *Программное обеспечение*

3.12 Microsoft® Office Excel, © Корпорация Майкрософт.

3.13 Система CAD/CAM/CAE NX, © Siemens PLM Software.

## 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных аспирантами и соискателями при изучении таких общих и общетехнических дисциплин, как высшая математика, физика, информатика, общая технология машиностроения (все разделы), оборудование машиностроительных производств в объёме вузовского курса.

Данная дисциплина является основной для углубленного изучения и освоения специальных математических методов моделирования процессов в машиностроении, а также для квалифицированного решения задач управления процессами, выбора и принятия технологических решений, создания интеллектуальных систем принятия решений, исследования технологических возможностей операций механической обработки, поверхностного упрочнения деталей, сборки.

Изучение дисциплины осуществляется в ходе учебных занятий, как аудиторных, так и самостоятельных. Аудиторные занятия включают в себя лекции и практические занятия. Поскольку лекционные занятия не могут достаточно полно охватить весь спектр изучаемых вопросов, особое внимание необходимо уделять самостоятельной работе, в числе которой – анализ специальной литературы, приведённой в п. 3 рабочей программы.

*Общие рекомендации к организации самостоятельной работы.* Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в литературе. Дополнительная литература рекомендуется для более глубокой проработки отдельных разделов и тем дисциплины с целью лучшего их усвоения. Необходимо отметить, что перечень дополнительной литературы не является исчерпывающим для изучения дисциплины и постоянно обновляется.

Изучение дисциплины рекомендуется производить последовательно в порядке перечисления разделов и тем рабочей программы. При этом целесообразно вести свой краткий конспект с занесением в него основных понятий и определений дисциплины, моделей, расчетных формул, схем и т. п. Такой подход позволяет подключить к процессу усвоения материала, в котором участвуют собственно память и зрительная память, еще и так называемую моторную (двигательную) память, что, как показывает практика, в ряде ситуаций оказывается нелишним.

При изучении конкретных разделов дисциплины не следует полагаться на одну лишь память. Необходимо стремиться понять предназначение и последовательность производимых вычислений, структуру применяемых формул, ход временных диаграмм и т. д. В этом случае, даже если память даст сбой, можно будет восполнить недостающие данные, основываясь на понимании сущности процессов, являющихся одним из объектов математического моделирования в технологии машиностроения.

## 5 СПИСОК ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

5.1 Классификация моделей. Виды математических моделей

5.2 Этапы моделирования. Параметры качества математических моделей

5.3 Объекты моделирования в машиностроительном производстве

5.4 Вероятностно-статистические, детерминированные и комбинированные модели

5.5 Задачи прямого моделирования. Понятие, типы и предмет обратных задач

5.6 Задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей

5.7 Простейшие модели, основанные на законах распределения случайных величин

5.8 Уравнения регрессии. Методы определения коэффициентов уравнения регрессии

5.9 Процессы сбора и регистрация данных. Описательная статистика

5.10 Диаграмма рассеяния. Методика построения и анализа

5.11 Гистограмма. Методика построения и анализа

5.12 Анализ формы гистограммы и её расположения относительно поля допуска

5.13 Доказательство гипотезы о законе распределения случайной величины

5.14 Оценка воспроизводимости процесса

5.15 Понятие налаженного процесса. Контрольные карты

5.16 Карты кумулятивных сумм

5.17 Диаграмма Парето и ABC-анализ

5.18 Постановка задач принятия оптимальных решений

- 5.19 Принятие решений в условиях определённости. Методы математического программирования
- 5.20 Задачи линейного программирования. Методы решения
- 5.21 Графо-аналитический метод решения задач линейного программирования
- 5.22 Задачи нелинейного программирования. Методы решения
- 5.23 Классический метод минимизации (максимизации) функции одной переменной
- 5.24 Метод равномерного перебора
- 5.25 Метод золотого сечения
- 5.26 Метод линеаризации
- 5.27 Метод покоординатного спуска
- 5.28 Методы решения многокритериальных задач оптимизации
- 5.29 Метод поиска Парето
- 5.30 Метод решения многокритериальных задач оптимизации с использованием обобщенного (интегрального) критерия
- 5.31 Принятие решений в условиях риска
- 5.32 Критерий ожидаемого значения
- 5.33 Критерии предпочтения
- 5.34 Принятие решений в условиях неопределенности
- 5.35 Методы автоматизации принятия технологических решений. Инженерия знаний
- 5.36 Понятие, структура и функции экспертной системы
- 5.37 Модели представления знаний в экспертной системе
- 5.38 Эмпирические силовые зависимости
- 5.39 Методика и аппаратура регистрации сил резания в процессе механической обработки
- 5.40 Аналитическая обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов
- 5.41 Объединение частных эмпирических зависимостей
- 5.42 Схема формирования упругих перемещений и смещения элементов в технологической системе и влияния их на точность обработки
- 5.43 Статическая и динамическая жесткости упругой системы
- 5.44 Модель формирования полей рассеяния упругих перемещений в технологической системе
- 5.45 Основные факторы, определяющие погрешность обработки деталей.
- 5.46 Расчетно-аналитический метод определения точности обработки
- 5.47 Моделирование точности обработки деталей на основе динамических характеристик станков
- 5.48 Моделирование связей производительности и точности операций металлообработки с изменением входных параметров



5.49 Моделирование управления производительностью, себестоимостью и точностью обработки деталей на станках с ЧПУ

5.50 Адаптивные системы предельного регулирования

5.51 Адаптивные системы оптимального управления

5.52 Основные методы поверхностно пластического деформирования

5.53 Расчет глубины деформационного упрочнения поверхностного слоя

5.54 Расчет приближенного значения накопленной деформации поверхностного слоя

5.55 Алмазное выглаживание. Силы, возникающие при алмазном выглаживании

5.56 Системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства (CAD/CAM). Методы построения математических моделей

5.57 Системы автоматизированного инженерного анализа (CAE). Метод конечных элементов, его преимущества и недостатки

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ САМОПРОВЕРКИ

6.1 Классификация моделей. Виды математических моделей

6.2 Этапы моделирования. Параметры качества математических моделей

6.3 Объекты моделирования в машиностроительном производстве

6.4 Задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей

6.5 Простейшие модели, основанные на законах распределения случайных величин

6.6 Уравнения регрессии. Методы определения коэффициентов уравнения регрессии

6.7 Процессы сбора и регистрация данных. Описательная статистика

6.8 Диаграмма рассеяния. Методика построения и анализа

6.9 Гистограмма. Методика построения и анализа

6.10 Доказательство гипотезы о законе распределения случайной величины

6.11 Оценка воспроизводимости процесса

6.12 Понятие налаженного процесса. Контрольные карты

6.13 Карты кумулятивных сумм

6.14 Диаграмма Парето и ABC-анализ

6.15 Принятие решений в условиях определенности. Методы математического программирования

6.16 Задачи линейного программирования. Методы решения

6.17 Задачи нелинейного программирования. Методы решения

6.18 Методы решения многокритериальных задач оптимизации

6.19 Принятие решений в условиях риска

6.20 Принятие решений в условиях неопределенности

6.21 Методы автоматизации принятия технологических решений. Инженерия знаний

6.22 Понятие, структура и функции экспертной системы

6.23 Аналитическая обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов

6.24 Моделирование управления производительностью, себестоимостью и точностью обработки деталей на станках с ЧПУ

6.25 Системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства (CAD/CAM). Методы построения математических моделей