

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке и инновациям  
д-р техн. наук, профессор  
Кожина Т.Д.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «Компьютерные технологии моделирования  
и оптимизации технологических процессов»

для специальности  
01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

**Кафедра РМСИ имени С. С. Силина**

Форма обучения	Количество часов	Количество зачетных единиц
Лекции	30	
Практические занятия	60	
Лабораторные занятия		
Самостоятельная работа	162	
Всего часов	252	7
Форма контроля (зач., экз., защ.)	экзамен	

Программу составили  
д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.А. Шатульский

СОГЛАСОВАНО

Зав. кафедрой РМСИ имени С.С. Силина  
д-р техн. наук, профессор

Волков Д. И.

Рыбинск, 2011

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями «О формировании основных образовательных программ послевузовского профессионального образования» (письмо Министерства образования и науки РФ от 22.06.2011г. ИБ-733/12) и требований по кандидатскому минимуму для аспирантов по специальности 01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

**1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:** приобретение аспирантами навыков разработки и применения математических моделей, алгоритмов и использования программных продуктов для анализа процессов, протекающих при получении, обработке и переработке материалов и сплавов, а также формировании отливки.

- углубление знаний и разработка моделей для анализа физико-химических процессов приготовления и обработки материалов; термодинамикой, кинетикой и механизмами процессов взаимодействия фаз при плавке сплавов;

углубление знаний и разработка моделей по анализу процессов внепечной обработки расплавов: модифицирование, рафинирование, микролегирование;

- углубление знаний и разработка моделей по анализу процессов кристаллизации и затвердевания при охлаждении сплавов;

- приобретение знаний и навыков по разработке алгоритмов процессов формирования отливки;

- приобретение навыков по статистической обработке экспериментальных данных, выполнении корреляционного, кластерного и регрессионного анализа;

- приобретение навыков по применению пакетов прикладных программ для моделирования процессов формирования отливки и обработки и переработке материалов.

Для успешного изучения и усвоения данной дисциплины аспиранты обладать знаниями, приобретенными при освоении основной образовательной программы высшего профессионального образования по направлению «Теплотехника», «Информатика», «Физика».

В свою очередь изучение дисциплины «Компьютерные технологии моделирования и оптимизации технологических процессов» должно подготовить аспирантов к использованию методов моделирования при выполнении диссертационной работы

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение, основные термины и понятия моделирования и оптимизации. Роль математического моделирования и компьютеризации в разработке новых материалов и технологических процессов. Классификация моделей и методов моделирования. Требования, предъявляемые к моделям.

2.2. Системы и методы моделирования. Система и методы анализа. Основные понятия и определения. Модели литейных систем. Условия рационального построения и функционирования систем в области литья, обработки и переработки материалов. Методы моделирования процессов,

условное, физические, математические и аналоговое моделирование, основные принципы, особенности и области применения. *Современные аналитические подходы к явлениям и процессам в материалах и покрытиях: теории фазовых переходов и критических явлений, теории подобия и скейлинг, законы сохранения, теория перколяции, геометрия фрактальных кластеров.* Анализ и моделирование фазовых переходов на основе теории перколяций и законов сохранения. Описание гетерогенных систем на основе геометрии фрактальных кластеров.

2.3. Физическое моделирование, определение условных критериев подобия путём анализа размерностей, Пи-теорема. Основные положения и принципы использования элементов теории подобия для моделирования процессов. Понятие и определение подобия. Первая теорема подобия (теорема Ньютона), вторая теорема подобия (теорема Бэкингема) третья теорема подобия (теорема Кирпичева). Приведение дифференциальных уравнений к безразмерному виду: константы подобия, инварианты, индикаторы, числа подобия. Условия подобия процессов. Прикладное значение теории подобия и размерностей для решения задач производства, обработки и переработки материалов и литья.

2.4. Математические методы моделирования процессов литья, материалов и покрытий, паро-, жидко- и твердофазных процессов их получения, обработки и переработки. Понятие математической модели и общие принципы и этапы ее построения. Требования к математическим моделям, точность, адекватность, универсальность, экономичность математических моделей. Структурные и функциональные математические модели.

Принципы построения математических моделей на микро, макро, метауровнях. Условия однозначности. Методы получения структурных и функциональных математических моделей. Элементы теории графов. Формализация процедур синтеза и анализа. Вычислительный эксперимент и адекватность математических моделей.

2.5 Математические модели процессов литья. Классификация тепловых условий литья, стадии формирования отливки.

Математические модели процесса заполнения полости формы расплавом. Уравнение Бернулли, уравнение движения Навье-Стокса. Постановка задачи, выбор условий однозначности. Примеры решения для литья в песчаные формы, кокиль, оболочковые формы литья по выплавляемым моделям..

Математические модели процесса снятия теплоты перегрева в литейной форме. Примеры решения задачи для литья в песчаные, металлические, оболочковые формы.

Математические модели процесса затвердевания отливки. Задачи Ляме и Клайперона, Стефана, затвердевание отливки при постоянной температуре, задача А.И. Вейника. Случай объемного и последовательного затвердевания отливки. Затвердевание металла при постоянной температуре, затвердевание металла в интервале температур. Частные случаи литья: тонкостенный кокиль, массивный кокиль, двухслойная форма, неметаллическая форма. Метод паузлового расчета. Способы воздействия на процесс формирования отливки. Расчет и конструирование систем питания отливок. Методы расчета прибылей.

Методы Василевского, Выгоднера, Попова, Пржибыла, Денисова. Расчет холодильников.

Математическое моделирование процесса охлаждения отливки в форме.

Методы решения сопряженных задач. Постановка задачи, примеры решения.

2.6. Математические модели получения, обработки и переработки материалов. Прогнозирование свойств сплавов на основе анализа атомно-электронного строения компонентов. Оптимизация состава и свойств жаропрочных сплавов на основе анализа атомно-электронного взаимодействия компонентов, метод «ФАКОМ».

2.7. Детерминированные и стохастические зависимости моделирования и оптимизации состава, структуры и свойств сплавов. Разработка алгоритмов расчета параметров новых материалов (основных групп), технологических процессов и рабочих деталей технологической оснастки.

2.8. Первичная статистическая обработка исходных данных, проверка статистических гипотез, параметрические, непараметрические критерии проверки однородности двух и более выборок.

2.9. Задачи и методы отбора и выделения определяющих, наиболее значимых факторов и отсева несущественных, малозначимых факторов. Корреляционный анализ, парный и множественный, линейный, нелинейный, ранговая корреляция. Принцип отбора значимых факторов методом дисперсионного анализа. Принцип отбора, значимых факторов методом экспертного оценивания.

2.10 Регрессионный анализ, его универсальность, полный и дробный факторные эксперименты, анализ регрессионной модели. Оптимизация факторов методом крутого восхождения. Композиционные планы второго порядка, принцип построения, область применения, основные принципы оптимального планирования экспериментов.

2.11. Многомерный факторный анализ, методы сокращения количества факторов, основные принципы формирования комплексных (обобщенных) переменных. Критериальная форма представления зависимостей.

2.12. Сущность метода главных компонент, общая схема выполнения расчетов методом компонентного анализа.

2.13. Кластерный анализ, сущность метода, область применения, практическое использование.

2.14. Дискриминантный анализ, сущность метода, его назначение, порядок выполнения, практическое использование.

2.15. Моделирование тепловых, гидравлических, деформационных, импульсных, диффузионных и кристаллизационных процессов. Анализ и моделирование процессов осаждения и формирования покрытий.

2.16. Математические модели процессов, полученные при кинематическом исследовании объектов, динамические модели сложных объектов, имитационное моделирование.

2.17. Основные принципы численного моделирования, метод Монте-Карло, его сущность, примеры применения. Метод наименьших квадратов, сущность

метода, ортогональный базис, подбор эмпирических зависимостей. Сплайн-функции для построения математических моделей.

2.18. Оптимизация технологических процессов: понятие об оптимизации, объект оптимизации, критерии оптимальности, этапы решения задач оптимизации, виды задач оптимизации технологических процессов. Одномерная оптимизация методом половинного деления числа Фибоначи. Оптимизация по методу Гаусса-Зейделя, методу градиента и методом крутого восхождения Бокса-Уилсона. Симплексный метод многомерной оптимизации, его преимущества, область применения. Аналитические методы оптимизации: линейное программирование, нелинейное программирование, многокритериальные задачи оптимизации, специальные программы анализа процессов симплексным методом.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические занятия являются важным элементом учебного процесса и предназначены для более углубленного изучения аспирантами важнейших разделов дисциплины, приобретения практических навыков по составлению математических моделей и использованию стандартных пакетов прикладных программ.

Цель практических работ – закрепление теоретических знаний и развитие навыков в выполнении комплексной самостоятельной работы по анализу и расчету некоторых основополагающих процессов литья, обработки и переработки материалов и покрытий. Практические работы выполняются в соответствии с заданием, которое каждый аспирант получает индивидуально.

3.1 Моделирование процессов изготовления отливок методом литья в песчаную форму из чугуна. «LVM FLOW»

3.2. Моделирование процессов изготовления отливок методом литья в песчаную форму из стали «LVM FLOW»

3.3. Моделирование процессов изготовления отливок методом литья по выплавляемым моделям из стали и жаропрочных сплавов (4 часа). «LVM FLOW»

3.4. Моделирование процессов изготовления отливок методом литья под давлением из алюминиевых сплавов (4 часа). «LVM FLOW»

3.5. Моделирование процессов изготовления отливок методом литья в кокиль из легких сплавов (4 часа). «LVM FLOW»

3.6. Моделирование процесса нагрева заготовки.

3.7. Моделирование процесса охлаждения заготовки.

3.8. Моделирование кинетики структурообразования при термической обработке.

3.9. Прогнозирование свойств азотированного слоя на основе регрессионных моделей.

3.10. Оптимизация свойств материалов и параметров технологических процессов симплексным методом.

3.11. Решение задач по обработке экспериментальных данных с использованием прикладного пакета «Statistica».

3.12. Использование пакета «КОМПАС» для проектирования конструкции заготовки.

3.13. Регрессионный анализ с использованием пакета «Statistica».

3.14. Кластерный анализ с использованием пакета «Statistica».

3.15. Применение методов прототипирования для изготовления моделей.

Примечание:

- каждое практическое занятие рассчитано на 6 часов.

- в зависимости от направления специализации аспиранта выбирается 10 практических занятий из данного перечня.

#### 4. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

##### Основная

1. И.О.Леушин, В.А.Решетов, А.В.Петухов Основы систем автоматизированного проектирования для литейщиков.- Нижний Новгород: НГТУ, 2002.-253 с.

2. Г.Ф. Баландин Основы теории формирования отливки.- М.: Машиностроение, 1979.- 340 с.

3. С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин Прикладная статистика: Основы моделирования и первичной обработки данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

4. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1986. – 240 с.

5. Пелых С.Г., Семесенко М.П. Оптимизация литейных процессов. Киев, Высшая школа, 1977. – 192 с.

##### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. А.А. Неуструев, В.С. Моисеев Автоматизированное проектирование технологических процессов литья.: Учебное пособие, М.: МГАТУ им.К.Э. Циолковского, 1994, 256 с.

2. И.П. Норенков, В.Б.Маничев Основы теории и проектирования САПР.- М.:Высшая школа, 1990 г. в 9 т.

3. А.Г. Малов., В.А. Честных, Чистяков В.В., А.А. Шатульский. Теория заполнения форм расплавом.- М.: Машиностроение, 1995.- 192с.

4. Б.С.Мастрюков Теплофизика металлургических процессов.- М.: МиСиС, 1996.-268 с.

5. Анхазарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.

## 5. СПИСОК ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

1. Системы и методы моделирования. Система и методы анализа. Основные понятия и определения. Модели литейных систем. Условия рационального построения и функционирования систем в области литья, обработки и переработки материалов.

2. Методы моделирования процессов, условное, физические, математические и аналоговое моделирование, основные принципы, особенности и области применения.

3. Анализ и моделирование фазовых переходов на основе теории перколяций и законов сохранения.

4. Описание гетерогенных систем на основе геометрии фрактальных кластеров.

5. Физическое моделирование, определение условных критериев подобия путём анализа размерностей, Пи-теорема. Основные положения и принципы использования элементов теории подобия и размерностей для моделирования процессов.

6. Прикладное значение теории подобия и размерностей для решения задач производства, обработки и переработки материалов и литья.

7. Математические методы моделирования процессов литья, материалов и покрытий, паро-, жидко- и твердофазных процессов их получения, обработки и переработки.

8. Понятие математической модели и общие принципы и этапы ее построения. Требования к математическим моделям, точность, адекватность, универсальность, экономичность математических моделей. Структурные и функциональные математические модели.

9. Принципы построения математических моделей на микро, макро, метауровнях. Условия однозначности. Методы получения структурных и функциональных математических моделей.

10. Элементы теории графов.

11. Математические модели процессов литья. Классификация тепловых условий литья, стадии формирования отливки.

12. Математические модели процесса заполнения полости формы расплавом. Уравнение Бернулли, уравнение движения Навье-Стокса. Постановка задачи, выбор условий однозначности.

13. Математические модели процесса снятия теплоты перегрева в литейной форме. Примеры решения задачи для литья в песчаные, металлические, оболочковые формы.

14. Математические модели процесса затвердевания отливки. Задачи Ляме и Клайперона, Стефана, затвердевание отливки при постоянной температуре, задача А.И. Вейника.

15. Объемное и последовательное затвердевание отливки. Затвердевание металла при постоянной температуре, затвердевание металла в интервале температур.

16. Частные случаи литья: тонкостенный кокиль, массивный кокиль, двухслойная форма, неметаллическая форма. Метод поузлового расчета. Способы воздействия на процесс формирования отливки.

17. Расчет и конструирование систем питания отливок. Методы расчета прибылей. Методы Василевского, Выгоднера, Попова, Пржибыла, Денисова.

18. Расчет и конструирование холодильников.

19. Математическое моделирование процесса охлаждения отливки в форме.

20. Методы решения сопряженных задач. Постановка задачи, примеры решения.

21. Математические модели получения, обработки и переработки материалов. Прогнозирование свойств сплавов на основе анализа атомно-электронного строения компонентов.

22. Оптимизация состава и свойств жаропрочных сплавов на основе анализа атомно-электронного взаимодействия компонентов, метод «ФАКОМ».

23. Детерминированные и стохастические зависимости моделирования и оптимизации состава, структуры и свойств сплавов. Разработка алгоритмов расчета параметров новых материалов (основных групп), технологических процессов и рабочих деталей технологической оснастки.

24. Первичная статистическая обработка исходных данных, проверка статистических гипотез, параметрические, непараметрические критерии проверки однородности двух и более выборок.

25. Задачи и методы отбора и выделения определяющих, наиболее значимых факторов и отсева несущественных, малозначимых факторов.

26. Регрессионный анализ, его универсальность, полный и дробный факторные эксперименты, анализ регрессионной модели. Оптимизация факторов методом крутого восхождения. Композиционные планы второго порядка, принцип построения, область применения, основные принципы оптимального планирования экспериментов.

27. Многомерный факторный анализ, методы сокращения количества факторов, основные принципы формирования комплексных (обобщенных) переменных. Критериальная форма представления зависимостей.

28. Сущность метода главных компонент, общая схема выполнения расчетов методом компонентного анализа.

29. Кластерный анализ, сущность метода, область применения, практическое использование.

30. Дискриминантный анализ, сущность метода, его назначение, порядок выполнения, практическое использование.

31. Моделирование тепловых, гидравлических, деформационных, импульсных, диффузионных и кристаллизационных процессов. Анализ и моделирование процессов осаждения и формирования покрытий.

32. Математические модели процессов, полученные при кинематическом исследовании объектов, динамические модели сложных объектов, имитационное моделирование.



33. Основные принципы численного моделирования, метод Монте-Карло, его сущность, примеры применения.

34. Оптимизация технологических процессов: понятие об оптимизации, объект оптимизации, критерии оптимальности, этапы решения задач оптимизации, виды задач оптимизации технологических процессов.

35. Одномерная оптимизация методом половинного деления числа Фиббоначи. Оптимизация по методу Гаусса-Зейделя, методу градиента и методом крутого восхождения Бокса-Уилсона.

36. Симплексный метод многомерной оптимизации, его преимущества, область применения.

37. Аналитические методы оптимизации: линейное программирование, нелинейное программирование, многокритериальные задачи оптимизации, специальные программы анализа процессов симплексным методом.

38. Корреляционный анализ, парный и множественный, линейный, нелинейный, ранговая корреляция. Принцип отбора значимых факторов методом дисперсионного анализа. Принцип отбора, значимых факторов методом экспертного оценивания.

39. Формализация процедур синтеза и анализа. Вычислительный эксперимент и адекватность математических моделей.

40. Метод наименьших квадратов, сущность метода, ортогональный базис, подбор эмпирических зависимостей. Сплайн-функции для построения математических моделей.