

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



Первый проректор, проректор по научной  
и инновационной работе

В.Г. Прокошев

« 03 » 06 2015 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки 15.06.01 Машиностроение

Направленность (профиль) подготовки Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Уровень высшего образования Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация выпускника «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Форма обучения очная

Год	Трудоем- кость зач. ед, час.	Лек- ции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРА, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	3/108	36			72	зачет
Итого	3/108	36			72	зачет

г. Владимир 2015 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Математическое моделирование технологических процессов» являются:

- обучение методологии разработки математических моделей для решения исследовательских задач, связанных с разработкой инновационных технологий;
- обучение основам разработки алгоритмов для реализации математических моделей при решении исследовательских задач;
- изучение возможностей современных расчетных комплексов для моделирования и исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах;
- формирование навыков использования современных расчетных комплексов для реализации математических моделей при решении исследовательских задач, связанных с разработкой инновационных технологий;
- воспитание ответственности за продукт своих разработок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ОПОП ВО)

Дисциплина «Математическое моделирование технологических процессов» изучается на 2-ом году подготовки по направлению 15.06.01 «Машиностроение» направленности (профиля) подготовки «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» и относится к дисциплинам по выбору вариативной части (Б1.В. ДВ.1.1).

Дисциплина базируется на знаниях, полученных в результате освоения образовательной программы высшего образования второго уровня (магистратура, специалитет). Обучающийся должен иметь базовые знания математических, естественнонаучных дисциплин, уметь применять методы математического анализа, теоретического моделирования и экспериментального исследования современных технологических процессов и технологических систем.

Дисциплина «Математическое моделирование технологических процессов» является частью блока дисциплин посвященных математическому моделированию процессов, средств технологических систем машиностроительных производств с использованием современных методов проведения научных исследований.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения программы аспирантуры у выпускника должны быть сформированы:

- **универсальные компетенции**, не зависящие от конкретного направления подготовки;
- **общепрофессиональные компетенции**, определяемые направлением подготовки;
- **профессиональные компетенции**, определяемые направленностью (профилем) программы аспирантуры в рамках направления подготовки (далее – направленность программы).

При разработке программы аспирантуры все универсальные и общепрофессиональные компетенции включаются в набор требуемых результатов освоения программы аспирантуры.

Перечень профессиональных компетенций программы аспирантуры кафедра формирует самостоятельно в соответствии с направленностью программы и (или) номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством образования и науки Российской Федерации.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения:

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2):

знать: современные методы и средства моделирования физических процессов, протекающих в технологических системах, в том числе, на мезо- и наноуровнях, позволяющие компетентно определить соотношение численных и экспериментальных исследований при решении исследовательских и практических задач;

уметь: формировать алгоритмы междисциплинарных численных исследований физических процессов на основе целостного системного научного мировоззрения;

владеть: современными информационными комплексами, позволяющих решать сопряженные задачи моделирования физических процессов.

- способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники (ОПК-2);

знать: современные тенденции и новые решения в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования технологических систем и технологических процессов машиностроительного производства;

уметь: формулировать нетиповые задачи и разрабатывать расчетные схемы при проектировании машин, приводов, оборудования технологических систем и технологических процессов машиностроительного производства;

владеть: современными средствами проектирования машин, приводов, оборудования технологических систем и технологических процессов машиностроительного производства.

- способность ставить и решать инновационные задачи, связанные с разработкой методов и технических средств, повышающих эффективность эксплуатации и проектирования объектов машиностроительной отрасли с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности (ПК-1);

знать: современные методы разработки математических моделей для решения инновационных задач, связанных с разработкой методов и технических средств, повышающих эффективность эксплуатации и проектирования объектов машиностроительной отрасли;

уметь: оценить новизну и актуальность поставленной цели, сложность решаемых инновационных задач, связанных с разработкой методов и технических средств, повышающих эффективность эксплуатации и проектирования объектов машиностроительной отрасли;

владеть: современными информационными и техническими средствами реализации научно-исследовательских инновационных проектов, связанных с разработкой технологических процессов и технических средств, повышающих эффективность эксплуатации и проектирования объектов машиностроительной отрасли.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Год обучения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРА	
1.	Концептуальная и математическая постановка задач моделирования технологических процессов. Математическое описание технологических процессов. Общие понятия математического моделирования процессов. Объекты моделирования в машиностроительном производстве. Вероятностно-статистические модели. Детерминированные модели. Понятие и типы обратных задач. Предмет обратных задач.	2	4			8	Конспект лекций. Отчеты по практическим работам. Собеседование.
2.	Модели управления процессами. Процессы сбора и регистрация данных. Описательная статистика. Диаграмма рассеяния.	2	4			8	

	<p>Гистограмма. Анализ формы гистограммы и её расположения относительно поля допуска. Доказательство гипотезы о законе распределения случайной величины. Оценка воспроизводимости и процесса. Понятие налаженного процесса. Контрольные карты. Карты кумулятивных сумм. Диаграмма Парето и ABC - анализ.</p>						
3.	<p>Вероятностно-статистические модели технологических процессов: задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей; простейшие модели, основанные на законах распределения случайных величин; уравнения регрессии, методы определения коэффициентов уравнения регрессии (наименьших квадратов, планирования эксперимента, Монте-Карло, стохастической аппроксимации)</p>	2	4			8	

4.	<p>Понятие технологического решения. Теория принятия оптимальных решений. Постановка задач принятия оптимальных решений. Принятие решений в условиях определённости. 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.</p>	2	4			8	
5.	<p>Принятие решений в условиях риска. Критерий ожидаемого значения. Критерий наиболее вероятного</p>	2	4			8	

	<p>исхода. Критерии предпочтения. Принятие решений в условиях неопределенности . Критерии Лапласа, Вальда, Байеса-Лапласа, Сэвиджа, Ходжа-Лемана.</p> <p>Автоматизация принятия технологических решений. Методы автоматизации принятия технологических решений. Понятие экспертной системы. Структура экспертной системы. Функции экспертной системы. Модели представления знаний в экспертных системах</p>					
6.	<p>Моделирование управления точностью, производительностью и себестоимостью обработки деталей. Адаптивные системы предельного регулирования. Адаптивные системы оптимального управления</p>	2	4			8
7.	<p>Детерминированные модели технологических процессов</p>	2	4			8

	<p>механической обработки.          Моделирование теплового состояния инструмента и заготовки в процессе резания.          Моделирование напряженно-деформированного состояния инструмента и заготовки в процессе резания.          Использование конечно-элементного анализа при моделировании технологических процессов механической обработки.</p>						
8.	<p>Детерминированные модели технологических процессов сварки.          Моделирование теплового состояния заготовки в процессе сварки плавящимся и неплавящимся электродами.          Использование конечно-элементного анализа при моделировании технологических процессов сварки.          Определение остаточных сварочных напряжений в заготовке и оценка их влияния на прочностные характеристики</p>	2	4			8	



9.	Детерминированные модели технологических процессов формоизменения заготовки, связанного с пластическим деформированием и течением материала. Использование конечно-элементного анализа при моделировании теплового и напряженно-деформированного состояния заготовки и инструмента в процессе формоизменения	2	4			8	
	<b>ИТОГО:</b>	<b>2</b>	<b>36</b>		-	<b>72</b>	<b>Зачет</b>

В соответствии с Типовым положением о вузе к видам учебной работы отнесены: лекции, консультации, семинары, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельные работы, научно-исследовательская работа, практики.

#### **Тематика лекционного курса.**

Концептуальная и математическая постановка задач моделирования технологических процессов. Математическое описание технологических процессов. Общие понятия математического моделирования процессов. Объекты моделирования в машиностроительном производстве. Вероятностно-статистические модели. Детерминированные модели. Понятие и типы обратных задач. Предмет обратных задач. (4 часа)

Модели управления процессами. 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. (4 часа)

Вероятностно-статистические модели технологических процессов: задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей; простейшие модели, основанные на законах распределения случайных величин; уравнения регрессии, методы определения коэффициентов уравнения регрессии (наименьших квадратов, планирования эксперимента, Монте-Карло, стохастической аппроксимации). (4 часа)

Понятие технологического решения. Теория принятия оптимальных решений. Постановка задач принятия оптимальных решений. Принятие решений в условиях определённости. Классический метод минимизации (максимизации) функции одной переменной. Метод равномерного перебора. Метод золотого сечения. Метод линейной рандомизации. Метод покоординатного спуска. Методы решения многокритериальных

задач оптимизации. Метод поиска Парето. Метод решения многокритериальных задач оптимизации с использованием обобщенного (интегрального) критерия. (4 часа)

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.

Автоматизация принятия технологических решений. Методы автоматизации принятия технологических решений. Понятие экспертной системы. Структура экспертной системы. Функции экспертной системы. Модели представления знаний в экспертных системах. (4 часа)

Моделирование управления точностью, производительностью и себестоимостью обработки деталей. Адаптивные системы предельного регулирования. Адаптивные системы оптимального управления. (4 часа)

Детерминированные модели технологических процессов механической обработки. Моделирование теплового состояния инструмента и заготовки в процессе резания. Моделирование напряженно-деформированного состояния инструмента и заготовки в процессе резания. Использование конечно-элементного анализа при моделировании технологических процессов механической обработки. (4 часа)

Детерминированные модели технологических процессов сварки. Моделирование теплового состояния заготовки в процессе сварки плавящимся и неплавящимся электродами. Использование конечно-элементного анализа при моделировании технологических процессов сварки. Определение остаточных сварочных напряжений в заготовке и оценка их влияния на прочностные характеристики. (4 часа).

Детерминированные модели технологических процессов формоизменения заготовки, связанного с пластическим деформированием и течением материала. Использование конечно-элементного анализа при моделировании теплового и напряженно-деформированного состояния заготовки и инструмента в процессе формоизменения. (4 часа).

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ориентация на тактические образовательные технологии, являющиеся конкретным способом достижения целей образования в рамках намеченной стратегической технологии. При чтении лекций используется метод проблемного изложения с использованием интерактивной формы проведения занятия. При проведении лабораторных работ используются поисковый и исследовательский методы, в том числе, case study.

Ниже приводится описание образовательных технологий, обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения дисциплины. Специфика сочетания методов и форм организации обучения отражается в матрице (см. табл). Перечень методов обучения и форм организации обучения может быть расширен.

Методы и формы организации обучения (ФОО)

ФОО	Лекции	Лабораторные работы	СРС
Методы			
IT-методы			
Работа в команде		+	+
Case study		+	
Игра			
Методы проблемного обучения.	+		
Обучение на основе опыта	+	+	
Опережающая самостоятельная работа			+

Проектный метод			
Поисковый метод		+	+
Исследовательский метод		+	+
Другие методы			

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ**

### **Вопросы к зачету**

1. Определение модели. Свойства моделей.
2. Цели и задачи моделирования. Понятие об иерархии математического моделирования. Значение триады «модель-алгоритм-программа».
3. Алгоритмизация математических моделей. Способы преобразования математических моделей к алгоритмическому виду. Методы решения.
4. Основные этапы математического моделирования. Особенности этапов, задачи и связь между ними.
5. Основные методы реализации моделей. Достоинства и недостатки.
6. Свойства математических моделей. Понятие «предсказательности» моделей.
7. Классификация моделей в зависимости от параметров и переменных моделирования. Материальное моделирование.
8. Классификация моделей в зависимости от целей моделирования.
9. Когнитивная и содержательная модели.
10. Концептуальная модель. Метод характеристик. Свойства линий скольжения.
11. Понятие математической модели. Универсальность. Взаимосвязь моделей.
12. Классификация математических моделей в зависимости от сложности, и параметров модели.
13. Классификация математических моделей в зависимости от целей моделирования. Свойства математических моделей. Полнота.
14. Классификация математических моделей в зависимости от методов реализации. Понятие о методе характеристик.
15. Понятие о математической постановке задачи математического моделирования.
16. Выбор и обоснование метода решения задачи моделирования.
17. Виды математических моделей. Структурные и функциональные математические модели.
18. Моделирование процесса теплопередачи при конвективном теплообмене.
19. Моделирование процесса теплопередачи при теплообмене излучением.
20. Использование внутренних источников теплоты при моделировании процесса теплопередачи.
21. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Граничные условия теплообмена.
22. Закон Фурье, дать определение коэффициенту теплопроводности, температурному полю, температурному градиенту.
23. Вариационная постановка задачи теплопроводности и ее численная реализация методом конечных элементов.
24. Возможные расчетные схемы моделирования контактного взаимодействия тел при термомеханическом нагружении.
25. Понятие и постановка краевой задачи в механике твердого деформируемого тела

26. Вариационная постановка задачи теории упругости и ее численная реализация методом конечных элементов.
27. Конечно-элементная схема решения задачи термоупругости
28. Кинематические граничные условия и их влияние на точность результатов.
29. Модели упругопластического деформирования, области применения.
30. Деформационная теория пластичности, область ее применения, реализация в рамках конечно-элементного прочностного анализа.
31. Теория течения, область ее применения, реализация в рамках конечно-элементного прочностного анализа.
32. Законы упрочнения при моделировании процессов пластического деформирования материалов.
33. Условия начала текучести при моделировании процессов пластического деформирования материалов.
34. Схематизация для описания пластических течений профессора Гуна Г.Я.
35. Описание движения деформируемой сплошной среды методом Эйлера.
36. Описание движения деформируемой сплошной среды методом Лагранжа.
37. Описание движения деформируемой сплошной среды методом Эйлера - Лагранжа.
38. Критерии разрушения для вязких материалов.
39. Критерии разрушения для хрупких материалов.
40. Алгоритм решения МКЭ процессов формоизменения и разрушения.
41. Моделирование процессов деформирования гиперупругих материалов.
42. Задачи прямого моделирования. Понятие, типы и предмет обратных задач
43. Задачи, решаемые с помощью вероятностно-статистических моделей
44. Простейшие модели, основанные на законах распределения случайных ве-
45. личин
46. Уравнения регрессии. Методы определения коэффициентов уравнения рег-
47. рессии
48. Процессы сбора и регистрация данных. Описательная статистика
49. Диаграмма рассеяния. Методика построения и анализа
50. Гистограмма. Методика построения и анализа
51. Анализ формы гистограммы и её расположения относительно поля до-
52. пуска
53. Доказательство гипотезы о законе распределения случайной величины
54. Оценка воспроизводимости процесса
55. Понятие налаженного процесса. Контрольные карты
56. Карты кумулятивных сумм
57. Диаграмма Парето и ABC-анализ
58. Постановка задач принятия оптимальных решений
59. Принятие решений в условиях определённости.
60. Классический метод минимизации (максимизации) функции одной пере-
61. менной
62. Метод равномерного перебора
63. Метод золотого сечения
64. Метод линеаризации
65. Метод покоординатного спуска
66. Методы решения многокритериальных задач оптимизации
67. Метод поиска Парето
68. Метод решения многокритериальных задач оптимизации с использовани-
69. ем обобщенного (интегрального) критерия
70. Принятие решений в условиях риска
71. Критерий ожидаемого значения
72. Критерии предпочтения

73. Принятие решений в условиях неопределенности
74. Методы автоматизации принятия технологических решений. Инженерия
75. знаний
76. Понятие, структура и функции экспертной системы
77. Модели представления знаний в экспертной системе
78. Моделирование связей производительности и точности операций метал-
79. лообработки с изменением входных параметров
80. Моделирование управления производительностью, себестоимостью и
81. точностью обработки деталей на станках с ЧПУ
82. Адаптивные системы предельного регулирования
83. Адаптивные системы оптимального управления

### **Виды и формы самостоятельной работы**

Самостоятельная работа включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний, развитие практических умений и включает в себя:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- опережающую самостоятельную работу;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку.

Творческая самостоятельная работа направлена на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) компетенций, повышение творческого потенциала обучающихся. Эта работа включает в себя:

- поиск, анализ, структурирование и презентацию информации;
- исследовательскую работу и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме.

*Содержание самостоятельной работы по дисциплине:*

Перечень научных проблем и направлений научных исследований:

- Моделирование физики формирования наноструктур
- Моделирование ударных процессов в технологических операциях.
- Моделирование процессов проникания деформируемых тел в различные среды в технологических операциях.
- Моделирование больших перемещений и деформаций в технологических операциях.

*Темы, выносимые на самостоятельную проработку:*

- Моделирование процессов механической обработки в САЕ - комплексах.
- Моделирование процессов формоизменения заготовки при обработке материалов давлением в САЕ - комплексах.
- Решение многокритериальных задач оптимизации в комплексах математического моделирования.

*Контроль самостоятельной работы:*

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей. Последний осуществляется путем защиты индивидуального домашнего задания, а также отчетов по творческой самостоятельной работе.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

*а) основная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):*

1. Белов П.С. Математическое моделирование технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие (конспект лекций)/ Белов П.С.— Электрон. текстовые данные.— Егорьевск: Егорьевский технологический институт (филиал) Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», 2016.— 121 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43395>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
2. Завьялов В.А. Математические основы управления технологическими процессами [Электронный ресурс]: конспект лекций/ Завьялов В.А., Величкин В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015.— 116 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/38471>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
3. Аверченков В.И. Автоматизация проектирования технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Аверченков В.И., Казаков Ю.М.— Электрон. текстовые данные.— Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012.— 228 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6990>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
4. Юрчук, С.Ю. Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Математическое моделирование фотолитографических процессов и процессов электронной литографии при создании субмикронных структур и структур с нанометровыми размерами. Курс лекций [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — М.: МИСИС, 2013. — 45 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=47470](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47470).
5. Осташков В.Н. Практикум по решению инженерных задач математическими методами: учебное пособие (Математическое моделирование)) БИНОМ, Лаборатория знаний, 2013. - ISBN 978-5-9963-2114-8. — Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996321148.html>.
6. Математическое моделирование динамической прочности конструкционных материалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Белов Н.Н., Копаница Д.Г., Югов Н.Т. - М.: Издательство АСВ, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939811.html>.

*б) дополнительная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):*

1. Духанов, А. В. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций / А.В. Духанов, О.Н. Медведева; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 107 с. ISBN 978-5-9984-0037-7. Режим доступа: <http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/1855>.
2. Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур [Электронный ресурс] / Матюшкин И.В. - М.: Техносфера, 2011. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948362861.html>.
3. Моделирование и оптимизация полимерных материалов [Электронный ресурс] / Лущейкин Г.А. - М.: КолосС, 2009. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953207461.html>.
4. Осипов, Ю.В. Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Диффузия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.В. Осипов, М.Б. Славин. — Электрон. дан. — М.: МИСИС, 2011. — 73 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=47465](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47465).
5. Математическое моделирование физических процессов в дуге и сварочной ванне [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Рыбачук А.М., Чернышов Г.Г. - М.: Издательство

в) *Internet-ресурсы:*

[www.hpcc.unn.ru/?doc=491](http://www.hpcc.unn.ru/?doc=491)

[www.matlab.ru](http://www.matlab.ru)

[www.exponenta.ru/educat/systemat/levitsky/index.asp](http://www.exponenta.ru/educat/systemat/levitsky/index.asp)

[www.all-library.com/ansys/](http://www.all-library.com/ansys/)

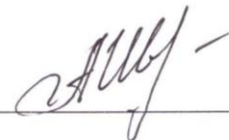
[www.cadfem-cis.ru](http://www.cadfem-cis.ru)

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

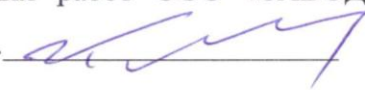
1. Суперкомпьютер «СКИФ МОНОМАХ» производительностью 4,7 Т-Флопс.
2. Четыре компьютерных класса, обеспечивающие связь с суперкомпьютером «СКИФ МОНОМАХ».
3. Лицензионное программное обеспечение: математические пакеты Mathcad, MATLAB.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению 15.06.01 «Машиностроение» и направленности (профилю) подготовки «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Рабочую программу составил к.т.н., доцент Иванченко А.Б. \_\_\_\_\_



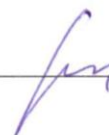
Рецензент: д.т.н., доцент, начальник научно-методического отдела координации сертификационных работ ООО «ЗАВОД ИННОВАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ «КТЗ»  
Кульчицкий А.Р. \_\_\_\_\_



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Технология машиностроения»

Протокол № 10/1 от 03.06.15 года.

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 15.06.01 «Машиностроение»

Протокол № 10/1 от 03.06.15 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



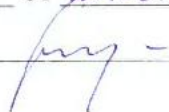


**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2016-2017 учебный год

Протокол заседания кафедры № 12 от 20.06.16 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_