

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВПО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
МиКМ  
проф. А.В. Ковалев  
29.05.2023г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.21 Математическое моделирование

**1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:**  
01.03.03 Механика и математическое моделирование

**2. Профиль подготовки:** Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг

**3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** Очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
Механики и компьютерного моделирования

**6. Составители программы:**

Бондарева Мария Владимировна, аспирант, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [Dobro-sotskaya\\_masha@mail.ru](mailto:Dobro-sotskaya_masha@mail.ru)

Ковалев Алексей Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, [kovalev@amm.vsu.ru](mailto:kovalev@amm.vsu.ru)

**7. Рекомендована:** НМС факультета ПММ протокол №7 от 26.05.2023.

**8. Учебный год:** 2026 - 2027

**Семестр(ы):** 7

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью изучения дисциплины является формирование комплекса знаний и практических навыков, необходимых для решения прикладных задач в области моделирования различных рабочих процессов в пакетах Ansys Static Structural, Ansys Thermal. Задачи дисциплины: изучение основных понятий термодинамики; изучение основ моделирования контактных задач, задач растяжения/сжатия и кручения с использованием современных вычислительных средств. Приобретение навыков использования современных компьютерных технологий для моделирования различных рабочих процессов в пакетах Ansys Static Structural, Ansys Thermal; приобретение навыков импортирования геометрических моделей и сеток; приобретение навыков формирования математической модели; - приобретение навыков адекватного определения граничных условий; приобретение навыков использовать имеющиеся средства для обработки и удобного представления результатов расчета.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина Б1.В.06 «Математическое моделирование» входит в вариативную часть профессионального цикла. Для освоения дисциплины необходимы знания следующих дисциплин: алгебра, аналитическая геометрия, теоретическая механика, теория упругости, сопротивление материалов, пакеты инженерного анализа, алгоритмы построения расчетных сеток. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать специальные курсы по профилю подготовки.

## 11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-1.1	Применение информационно-коммуникационных технологий для решения задач профессиональной деятельности	Знать: современные способы поиска информации в сети интернет. Уметь: формировать запросы поиска необходимой информации Владеть: навыками работы с большим объемом профессиональной информации.
		ОПК-1.2	Решение классических задач МСС с применением современных технологий	Знать: методику решения задач МСС. Уметь: применять полученные знания для решения задач Владеть: навыками работы с пакетами прикладных программ для решения задач

ОПК-4	способностью находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем	ОПК-4.1	Поиск и систематизация знаний в области современных пакетов трехмерного моделирования.	Знать: современные способы поиска информации в сети интернет. Уметь: формировать запросы поиска необходимой информации Владеть: навыками работы с большим объемом профессиональной информации.
		ОПК-4.2	Способность использовать программные средства для решения типовых задач.	Знать: основные понятия вычислительной гидродинамики; основы моделирования турбулентных течений средствами современной вычислительной гидродинамики Уметь: формировать математическую модель, определять параметры граничных условий, задавать физические свойства веществ, задавать параметры решения задачи Владеть: навыками разработки физико-математических моделей исследуемых процессов; навыками решения физико-математических моделей исследуемых процессов; навыками самостоятельного получения новых знаний по моделированию рабочих процессов
		ОПК-4.3	Использование современных информационных технологий, программных средств для решения задач в профессиональной области	Знать: возможности и особенности прикладных пакетов программ ANSYS CFX. Уметь: создавать и импортировать геометрические модели; применять сеточный генератор для построения геометрической и сеточной моделей для анализа различных вариантов решений заданной задачи; использовать программное обеспечение ANSYS CFX для анализа вариантов решений заданной задачи Владеть: навыками решения прикладных задач и оп-

				тимизации конструктивных схем проточной части с помощью прикладных пакетов ANSYS CFX; навыками анализа вариантов решений, разработки и поиска компромиссных решений.
ПК-2	способностью математически корректно ставить естественнонаучные задачи, знание постановок классических задач математики и механики	ПК-2.1	Способен использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении задач мсс	Знать: методы математического и алгоритмического моделирования при решении задач мсс Уметь: использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении задач мсс. Владеть: навыками работы с пакетами математического моделирования
		ПК-2.2	Применять и развивать адекватные методы решения задач	Знать: постановки, теоретические основы и методы решения профессиональных задач Уметь: ставить задачи, разрабатывать программу исследования Владеть: навыками постановки и разработки программ исследования
ПК-4	готовность использовать основы теории эксперимента в механике, понимание роли эксперимента в математическом моделировании процессов и явлений реального мира	ПК-4.1	Способен к постижению основ математических моделей реального объекта	Знать: основы математических моделей реального процесса или объекта. Уметь: постигать основы математических моделей реального объекта. Владеть: навыками применения моделирования для построения объектов и процессов, предсказания их свойств
		ПК-4.2	Способен к обработке и интерпретации полученных результатов моделирования	Знать: основные способы обработки результатов компьютерного моделирования Уметь: подбирать средства и методы для постановки и решения задач Владеть: методикой проведения исследования и способами анализа результатов.

ПК-6	способностью использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач	ПК-6.1	Способен использовать современные пакеты прикладных программ для решения задач	Знает: основные методы решения задач. Умеет: выбирать необходимое программное обеспечение для решения задачи. Владеет: основными навыками решения задач с использованием прикладного программного обеспечения
		ПК-6.2	Обладать способностью создавать и исследовать новые математические модели	Знать: численные методы алгебры, решения дифференциальных уравнений. Уметь: алгоритмизировать поставленную задачу, использовать возможности интернет-ресурсов и пакетов прикладных программ Владеть: способами реализации и расчета поставленной задачи
ПК-7	способностью использовать методы физического моделирования при анализе проблем механики	ПК-7.1	Способен к обработке и интерпретации полученных данных	Знать: основные способы обработки результатов компьютерного моделирования Уметь: подбирать средства и методы для обработки результатов Владеть: методикой проведения исследования и способами анализа результатов
		ПК-7.2	Способен к проведению реального физического эксперимента и работе в команде	Знает: Основы проведения физического эксперимента. Умеет: работать в команде Владеет: методами проведения физического эксперимента и анализа полученных результатов

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72.**

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен): зачет

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		7

Контактная работа			
в том числе:	лекции	16	16
	практические		
	лабораторные	16	16
	курсовая работа		
	др. виды (при наличии)		
Самостоятельная работа		40	40
Промежуточная аттестация (для экзамена)			Зачет
Итого:		72	72

### 13.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
2.Лабораторные занятия			
1.	Введение	Обзор современного программного обеспечения предназначенного для решения задач термодинамики, теории упругости и сопротивления материалов	«Математическое моделирование»
2.	Ansys, платформа Workbench	Основы работы в платформе Workbench	«Математическое моделирование»
3.	Ansys Thermal	Основы решения термодинамических задач.	«Математическое моделирование»
4.	Ansys Static Structural	Решение задач классической теории упругости, решение контактных задач.	«Математическое моделирование»
5.	Ansys Static Structural	Решение задач сопротивления материалов, построение эпюр моментов и сил.	«Математическое моделирование»

### 13.2 Междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование дисциплин учебного плана, с которым организована взаимосвязь дисциплины рабочей программы	№ разделов дисциплины рабочей программы, связанных с указанными дисциплинами
1.	Генераторы сеток	Все разделы
2.	Пакеты инженерного анализа	Все разделы
3.	Численные методы	Все разделы

### 13.3 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Введение	2	2	4	8
2.	Ansys, платформа Workbench	2		4	6

3.	Ansys Thermal	4	6	10	20
4.	Ansys Static Structural	4	4	12	20
5.	Ansys Static Structural	4	4	10	18
	Итого	16	16	40	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Студентам, изучающим дисциплину, рекомендуется проведение самостоятельной работы с конспектами лекций, презентационным материалом, методическими указаниями, литературой. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Басов К.А. ANSYS для конструкторов – М.: ДМК Пресс, 2012г.– 248 с.
2	Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие – М.: Машиностроение, 2004г. – 512 с.
3.	Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя - М.: ДМК Пресс, 2008г. - 640 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах/ Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002г.– 224 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1.	Электронная библиотека ВГУ <a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a>
2.	Национальный цифровой ресурс «РУКОНТ»
3.	ЭБС «Консультант студента»
4.	ЭБС «Лань»
5.	Онлайн-курс, размещенный на LMS-платформе <a href="http://edu.vsu.ru">edu.vsu.ru</a> : «Математическое моделирование»

#### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах/ Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002г.– 224 с.

#### 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Математическое моделирование», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, использование средств мультимедиа для визуализации решения задач

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение	ОПК-1 ОПК-4	ОПК-1.1 ОПК-4.1 ОПК-4.2	Практикоориентированные задания/домашние задания
2.	Ansys, платформа Workbench	ОПК-1 ОПК-4	ОПК-1.2 ОПК-4.1 ОПК-4.2	Лабораторные задания/домашние задания
3.	Ansys Thermal	ОПК-1 ПК-2 ПК-4 ПК-6 ПК-7	ОПК-1.1 ПК-2.1 ПК-4.2 ПК-6.1 ПК-7.2	Лабораторные задания/домашние задания
4.	Ansys Static Structural	ОПК-1 ПК-2 ПК-4 ПК-6 ПК-7	ОПК-1.2 ПК-2.2 ПК-4.2 ПК-6.1 ПК-7.1	Лабораторные задания/домашние задания
5.	Ansys Static Structural	ОПК-4 ПК-2 ПК-4 ПК-6 ПК-7	ОПК-1.2 ПК-2.1 ПК-4.2 ПК-6.1 ПК-725	Лабораторные задания/домашние задания
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Выполнение лабораторных работ

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: Практикоориентированные задания/домашние задания, Лабораторные задания/домашние задания

Практикоориентированные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень заданий из задачников и пособий из п. 16

Описание технологии проведения Решение практикоориентированных заданий происходит в течение 1 часа 30 минут в учебной аудитории, для выполнения домашних заданий предусмотрены часы из СРС Проверка правильности выполнения проводится путем проверки выполненных упражнений

### Перечень тем практикоориентированных заданий

1. Охлаждение шарообразного твердого тела покоящейся жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Дирихле (**базовая модель**).
2. Охлаждение шарообразного твердого тела покоящейся жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Неймана.
3. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия конвективного типа (типа Робина).
4. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия сопряженного типа.
5. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкостью или газообразной окружающей средой с учетом теплового  $\square$ -слоя Нернста вокруг твердого тела. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия на поверхности раздела твердое тело / окружающая среда сопряженного типа.
6. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкостью или покоящейся газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды одного порядка с размером твердого тела, а его внешняя граница теплоизолирована. На поверхности раздела твердое тело / окружающая среда ставятся граничные условия сопряженного типа.
7. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Дирихле.
8. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Неймана.
9. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Робина.
10. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкостью или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия сопряженного типа.

11. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или газообразной окружающей средой с учетом теплового  $\square$ -слоя Нернста вокруг твердого тела. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Внутри твердого тела имеются распределенные стоки тепла. Границные условия на поверхности раздела твердое тело / окружающая среда сопряженного типа.
12. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или покоящейся газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды одного порядка с размером твердого тела, а его внешняя граница теплоизолирована. Внутри твердого тела имеются распределенные стоки тепла, а на его поверхности раздела с окружающей средой задаются граничные условия сопряженного типа.
13. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Дирихле.
14. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Неймана.
15. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия типа Робина.
16. Охлаждение шарообразного твердого тела, внутри которого расположены внутренние стоки тепла, покоящейся жидкой или газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Границные условия сопряженного типа.
17. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или газообразной окружающей средой с учетом теплового  $\square$ -слоя Нернста вокруг твердого тела. Характерный размер объема окружающей среды значительно превосходит размеры твердого тела. Внутри твердого тела имеются распределенные стоки тепла. Границные условия на поверхности раздела твердое тело / окружающая среда сопряженного типа.
18. Охлаждение шарообразного твердого тела жидкой или покоящейся газообразной окружающей средой. Характерный размер объема окружающей среды одного порядка с размером твердого тела, а его внешняя граница теплоизолирована. Внутри твердого тела имеются распределенные стоки тепла, а на его поверхности раздела с окружающей средой задаются граничные условия сопряженного типа

Проводится путем проверки выполненных упражнений

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Правильное решение задачи.
Хорошо	Правильное решение задачи, но есть некоторые ошибки.
Удовлетворительно	Неправильное решение задачи, но верно выбран метод решения.
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

---

**Собеседование по экзаменационным билетам**  
*(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)*

---

Описание технологии проведения. Средство контроля, организованное как решение задач и специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Вопросы к экзамену:

1. Предмет исследования в физико-химической механике (ФХМ).
2. Краткий исторический очерк развития механики с учётом физико-химических взаимодействий.
3. Основные понятия и определения ФХ процессов и систем.
4. Основные законы естествознания и уравнения балансов.
5. Реологические и определяющие уравнения. Законы Фика и Фурье.
6. Принцип построения определяющих уравнений с помощью неравновесной термодинамики.
7. Перекрестные эффекты, соотношения Онзагера.
8. О постановке граничных условий с учетом физико-химических взаимодействий.
9. Фазовые переходы и особенность постановки задач исследования
10. Классическая постановка задачи Стефана о промерзании грунта.
11. Вывод условия Стефана для случая теплофизических и физико-химических процессов.
12. Виды химических взаимодействий: гомогенные и гетерогенные химические реакции
13. Постановка задач исследования с учетом химических реакций.
14. Виды и типы процессов поглощения веществ с учетом физико-химических взаимодействий.
15. Виды процессов сорбции: абсорбция, адсорбция, хемосорбция, десорбция, электросорбция и др.
16. Сорбционные и мембранные процессы и их моделирование.
17. Процессы редокс-сорбции и их математическое моделирование.
18. Нанокомпозиты металл – ионообменник как высоко технологичный сорбент.
19. Понятие скорости химической реакции и построение для них математических моделей.
20. Принцип независимости в ФХ системах.
21. Стехиометрическое уравнение.
22. Закон действующих масс.
23. Уравнение Аррениуса.
24. Химический потенциал.
25. Постановка задачи кинетики сорбции.

26. Общая постановка задачи динамики сорбции.
27. Модель процесса сорбции для замкнутых систем водоподготовки.
28. Редокситы и процесс редокс-сорбции нанокомпозитами металл – ионообменник.
29. Основные факторы, определяющие функционирования систем редокс-сорбции
30. Построение иерархической схемы моделей процесса редокс-сорбции
31. Формулы для образования моделей первого, второго и третьего уровней иерархии.
32. Построение базовой модели кинетики процессов сорбции.
33. Установление основных закономерностей сорбционных процессов на основе базовой модели.
34. Построение математических моделей первого уровня иерархии для процессов кинетики.
35. Построение математических моделей первого уровня иерархии для процессов динамики.
36. Построение математических моделей второго уровня иерархии для процессов кинетики
37. Построение математических моделей второго уровня иерархии для процессов динамики.
38. Концептуальная модель реактора для процесса редокс-сорбции во внешнем электрическом поле.
39. О граничном условии на поверхности сорбента в случае его катодной поляризации.
40. Моделирование замкнутых систем водоподготовки в устройством на основе процесса редокс-сорбции.
41. Применение интегро-интерполяционного метода решения задач кинетики и динамики процессов редокс-сорбции
42. Применение технологии программирования OLYMPUS для разработки программного обеспечения процессов редокс-сорбции.
43. Проведение компьютерного эксперимента для процессов редокс-сорбции.
44. Анализ результатов компьютерного эксперимента процессов редокс-сорбции: время наступления равновесного состояния на отдельном зерне сорбента, профили концентрации активного компонента в характерные моменты времени, изменение концентрации активного компонента в центре и на поверхности зерна сорбента, изменение плотности диффузионного потока через поверхность сорбента, зависимость степени полноты процесса сорбции.

Экзамен проводится на основе КИМ, составленных на основе вопросов для подготовки к экзамену.

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Успешное выполнение индивидуального задания, на все вопросы билета даны полные и правильные ответы.
Хорошо	Успешное выполнение индивидуального задания, На один из вопросов билета не дан правильный ответ
Удовлетворительно	Успешное выполнение индивидуального задания, На два

	вопроса билета даны не правильные ответы
Неудовлетворительно	Не выполнено индивидуальное задание или на все вопросы билета даны не правильные или не полные ответы

**20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:**

**1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):**

1. Абстрактное моделирование связано с построением абстрактной модели, отметьте примеры таких моделей среди ниже приведённого.
  - Графы,(\*)
  - Диаграммы,(\*)
  - Математические соотношения,(\*)
  - Летающая модель планера,
  - Стендовая модель самолета,
  - Напечатанная на 3D принтере модель здания.
2. Математическое моделирование называется процесс формирования
  - Физической модели,
  - Абстрактной модели,
  - Математической модели.(\*)
3. Что обычно понимается под понятием вычислительный эксперимент
  - Построение физической модели объекта,
  - Построение математической модели объекта,
  - Проведение исследований на математической модели при проектировании объекта.(\*)
4. Математическая модель реактивного движения. Какой подход наиболее удобен для построения математической модели многоступенчатой ракеты?
  - Фундаментальные законы природы,
  - Вариационные принципы,
  - Иерархический подход, (\*)
  - Применение аналогий.
5. При моделировании объектов двигающихся в газообразных или жидкких средах необходимо учитывать число О. Рейнольдса, укажите соотношение для его определения
  - $\frac{mv^2}{2}$ ,
  - $\int h^2 dm$ ,
  - $\frac{uv}{\gamma},(*)$
  - $\frac{1}{M} \sum x_i m_i$ .
6. Простейшая модель теплокровного животного показывает, что теплоотдача, приходящаяся на единицу объема тела
  - Пропорциональна длине тела,
  - Обратно пропорциональна длине тела,(\*)
  - Не зависит от длины тела.

7. Математическая модель многозвенного манипулятора. Прямая задача кинематики манипулятора предполагает
    - а. Определение положения рабочего инструмента в пространстве по известным присоединенным параметрам, (\*)
    - б. Определение присоединенных параметров по известному положению рабочего инструмента в пространстве.
  8. При определении присоединенных параметров плоского многозвенного манипулятора возникает множественность решения в случае, когда
    - а. Манипулятор состоит из двух звеньев,
    - б. Манипулятор состоит из четырех звеньев. (\*)
  9. Представление Денавита-Хартенберга предполагает использование
    - а. 2 параметров,
    - б. 4 параметров, (\*)
    - с. 6 параметров.
  10. Физический смысл динамического коэффициента манипулятора  $c_i$ ?
- а. Устанавливает связь действующих в сочленениях сил и моментов с ускорениями присоединенных переменных,
  - б. Устанавливает связь действующих в сочленениях сил и моментов со скоростями изменения присоединенных переменных,
  - с. Учитывают силу тяжести, действующую на каждое из звеньев манипулятора. (\*)

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

1. Дайте определение понятию моделирование.

Ответ: Моделирование представляет собой процесс замещения объекта исследования некоторой моделью и проведение исследований на ней с целью получения необходимой информации об объекте.

2. Перечислите подходы к построению математических моделей.

Ответ:

- а. Фундаментальные законы природы,
- б. Вариационные принципы,
- с. Иерархический подход,
- д. Применение аналогий.

3. Математическая модель реактивного движения. Приведите формулу Циолковского.

- а. Ответ:

$$v = u \ln \left( \frac{m_0}{m_p + m_s} \right), \text{ где } m_p - \text{полезная масса, } m_s - \text{структурная масса, } m_0 - \text{начальная масса, } u - \text{скорость истечения газов при работе двигателя.}$$

4. Математическая модель роста деревьев. Приведите соотношение определяющее суть модели И.А. Полезаева, основанной на использовании энергетического баланса.

- а. Ответ:

$$h(t) = \frac{\sqrt{\frac{a}{b}}(1-e^{-2\sqrt{ab}(t-t_0)})}{1+e^{-2\sqrt{ab}(t-t_0)}},$$
 где  $a, b -$

величины, определяющие породу дерева,  $h$  – высота дерева от времени.

5. Что выступает предметом дисциплины динамика манипулятора?

а. Ответ: Математическое описание действующих на манипулятор сил и моментов в форме уравнений динамики движения.

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения данной дисциплины.