

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.О.25 АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программу составили  
профессор, д.ф.-м.н. С.И.Бурков

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины:

Изучение современных методов анализа физических полей и освоение существующего специализированного программного обеспечения для анализа физических полей

### 1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачи изучения дисциплины:

- изучение существующего специализированного прикладного программного обеспечения для анализа физических полей (электромагнитных, тепловых, упругих деформаций, гидрогазодинамических) электротехнических и энергетических объектов;
- освоение способов постановки задач полевого анализа и формулировки задач в терминах используемого прикладного программного обеспечения;
- приобретение навыков работы с программным обеспечением для анализа физических полей типовых электротехнических и энергетических объектов: формирование комплектов исходных данных, визуальное представления результатов расчетов и др.;
- приобретение навыков решения оптимизационных задач;
- приобретение навыков решения междисциплинарных задач;
- создание личной компьютерной библиотеки специалиста – банка типовых задач, возникающих при анализе физических полей электротехнических и энергетических объектов.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

| Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Запланированные результаты обучения по дисциплине  |
|--|--|
| ОПК-3 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности; |  |
| ОПК-3.1 Понимает основы современных информационных технологий  | знать принцип работы пакета COMSOL MultiPhysics  |
| ОПК-3.2 Применяет знания и умения в области информационных технологий при проведении научно-исследовательских работ и решении прикладных задач   | уметь использовать современные информационные технологии для решения прикладных физических задач             |
| ПК-3 Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства   |  |
| ПК-3.1 Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств   | уметь использовать пакет COMSOL MultiPhysics для физического моделирования                                   |
| ПК-3.2 Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства  | владеть способностью анализировать свойства материалов с помощью физического и математического моделирования |

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

## 2 Объем дисциплины (модуля)

| Вид учебной работы                          | Всего,<br>зачетных<br>единиц<br>(акад.час) | Семестр  |             |
|---|--|----------|-------------|
|   |  | 8        | 9           |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>        | 7 (108)                                    | 3 (108)  | 4 (144)     |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>  | 3 (108)                                    | 1,5 (54) | 1,5 (54)    |
| занятия лекционного типа                    | 1 (36)                                     | 0,5 (18) | 0,5 (18)    |
| лабораторные работы                         | 2 (72)                                     | 1 (36)   | 1 (36)      |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся</b>   | 3 (108)                                    | 1,5 (54) | 1,5 (54)    |
| <b>Вид промежуточной аттестации (Зачет)</b> | 36   | Зачёт    | Экзаме<br>н |

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

| № п/п | Вид работ | Темы занятия   | Объем часов | Семестр /курс | Часы в эл. формате |
|-------|-----------|--|-------------|---------------|--------------------|
| 1.    | Лек       | Математические и физические основы математического моделирования. Основы метода конечных элементов. Переход от непрерывного решения к кусочно-непрерывному   | 4           | 8             |                    |
| 2.    | Лек       | Пакет COMSOL MultiPhysics. Основные навыки работы  | 2           | 8             |                    |
| 3.    | Лек       | Навигатор моделей и главное меню Model Wizard (Мастер создания модели) .<br>Разнообразные геометрические примитивы Наборы геометрических заготовок для различных задач физики  | 2           | 8             |                    |
| 4.    | Лек       | Application Builder: среда разработки приложения Мастер создания и настройки графических форм и объектов Редактор и компилятор макросов/скриптов на основе Java с прикладными функциями COMSOL   | 2           | 8             |                    |
| 5.    | Лек       | Задание граничных условий и изменение дифференциальных уравнений<br>Построение сетки Узел Mesh: Возможность ручной настройки сеточной последовательности.<br>Работа с материалами в COMSOL Узел Material: контейнер физико-химических свойств  | 2           | 8             |                    |
| 6.    | Лек       | Описание физики задачи в COMSOL Узел Physics: постановка расчётной задачи Программное представление решаемой задачи: управляющих уравнений, начальных/граничных условий, уравнений состояния   | 2           | 8             |                    |
| 7.    | Лек       | Исследования и решатели в COMSOL Multiphysics Узел Study: Доступные типы исследований Stationary, Frequency Domain, Time Dependent, Eigenfrequency Модальные техники, FFT и IFFT преобразования Параметрические и кластерные расчеты, оптимизационные исследования.<br>Визуализация результатов Постобработка результатов в COMSOL Multiphysics Узел Results в дереве модели Графики любой размерности и любого типа, вывод числовых данных в табличном формате, экспорт данных, отчеты и т.п. | 4           | 8             |                    |
| 8.    | Лаб       | Создание двумерной осесимметричной модели трубы в теплоизоляции. Расчет нестационарный. Свойства материалов импортировать из библиотеки материалов или из справочника.<br>Найти время выхода на стационар, вывести графики изменения температуры на границах труба-теплоизоляция и теплоизоляция-среда в зависимости от времени.<br>Повторить расчет в одномерном осесимметричном режиме, сравнить результаты.<br>3D-печать оптимального радиатора   | 6           | 8             |                    |
| 9.    | Лаб       | Создание двумерной нестационарной модели стержня с квадратным сечением со стороной А, в котором находится нагреватель мощностью В кВт, температура окружающей среды С. Данные из таблицы в задании 1. На всех границах задать конвективный теплообмен $h=20$ Вт/м <sup>2</sup> К. Коэффициент черноты взять из справочника.  | 6           | 8             |                    |
| 10.   | Лаб       | Анализ динамики движения фронта затвердевания (задача Стефана) Изучение фазовых переходов I рода на примере задачи плавления полубесконечной среды. Сделать анимацию движения профиля температуры с течением времени. Проанализировать изменение решения при увеличении температуропроводности   | 6           | 8             |                    |
| 11.   | Лаб       | Расчет тепловых полей при лазерной импульсной обработке (3D-модель). Исследовать динамику изменения теплового поля после воздействия одиночного импульса на поверхность образца Сравнить время, требуемое для оплавления и последующей кристаллизации поверхности, с периодом генерации импульсов  | 6           | 8             |                    |
| 12.   | Лаб       | Оптимизация нанесения функциональных покрытий методом на спекания порошковых материалов (3D-модель). Проанализировать процесс спекания слоя металлического порошка при лазерной обработке. Сделать анимацию движения профиля температуры с течением времени. Схематически зарисуйте динамику изменения изотерм с течением времени в расчетной области  | 6           | 8             |                    |
| 13.   | Лаб       | Построить модель длинной линии относительно напряжения и тока для однородной двухпроводной линии. Отражение волн напряжения и тока при коротком замыкании и холостого хода   | 6           | 8             |                    |
| 14.   | Ср        | Самостоятельная работа   | 54          | 8             |                    |

|     |         |   |    |   |  |
|-----|---------|---|----|---|--|
| 15. | Зачёт   | Зачет   |    | 8 |  |
| 16. | Лек     | Постобработка низкоразмерных объектов Свойства тонкого слоя Нарушения непрерывности Операторы Up (Верх) и Down (Низ) Оператор Side (Сторона)<br>Механика конструкций Расчеты на прочность и устойчивость в т.ч. механические примитивы<br>Нелинейная механика Упругопластические деформации Контакты, трение, адгезия & декогезия<br>Нелинейные модели материала, Многослойные композитные оболочки FSI, электромеханика, термические напряжения, пьезоэффект | 2  | 9 |  |
| 17. | Лек     | Акустика. Акустические волны в жидких и газовых средах и твердых телах Вибрационный анализ Термовязкостная акустика микросистем Продвинутый учет термических и вязких потерь, пьезоакустика, электроакустика, аэроакустика  | 4  | 9 |  |
| 18. | Лек     | Сложный теплообмен. Теплопроводность, конвекция, излучение в т.ч. в тонких оболочках и биологических тканях<br>Модели термического повреждения<br>Фазовые переходы Испарение и конденсация Неизотермические потоки, термические деформации, э/м нагрев, экзо- и эндотермические реакции, термоэлектричество и т.п.<br>Вычислительная гидродинамика Ламинарные и турбулентные течения (RANS и LES) Процессы смешивания,  | 6  | 9 |  |
| 19. | Лек     | Электродинамика Низкочастотная электротехника Электростатика, электрические поля и токи, магнитные поля, индукционные эффекты<br>Радиофизика Излучатели, волноводные и резонансные системы, периодические решетки<br>Волновая и геометрическая оптика Фотоника, плазмоника, интегральная оптика Масштабные оптические системы<br>Интеграция с MATLAB и Excel LiveLink for MATLAB-Simulink-Excel   | 6  | 9 |  |
| 20. | Лаб     | Построить модель «Магнитный тормоз» - вращающийся проводящий диск в постоянном магнитном поле   | 4  | 9 |  |
| 21. | Лаб     | Модель - Аттрактор Лоренца.<br>Конвекция в плоском слое.<br>Конвекция в замкнутой петле<br>Вращение водяного колеса.<br>Одномодовый лазер   | 4  | 9 |  |
| 22. | Лаб     | Естественная конвекция в стакане с водой (3D-модель)– получить структуру возникающих течений и соответствующее распределение температуры.   | 6  | 9 |  |
| 23. | Лаб     | Индукционный нагрев металлического цилиндра, с учетом уменьшение проводимости металла по мере увеличения температуры  | 6  | 9 |  |
| 24. | Лаб     | Модель сопла печати струйного принтера (3D-принтера). Геометрия выпускного устройства (сопла) или тип чернил для повышения скорости и разрешение изображений. Демонстрация моделирование потока жидкости через выпускное устройство струйного принтера (3D-принтера).   | 4  | 9 |  |
| 25. | Лаб     | Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) поверхностной акустической волны в пьезоэлектрическом кристалле  | 2  | 9 |  |
| 26. | Лаб     | Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) мод волны Лэмба в пьезоэлектрическом кристаллической пластине  | 2  | 9 |  |
| 27. | Лаб     | Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) мод волны Лэмба (Лява) в многослойной пьезоэлектрической кристаллической структуре.  | 4  | 9 |  |
| 28. | Лаб     | Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) объемной акустической волны в фононом кристалле.   | 4  | 9 |  |
| 29. | Ср      | Самостоятельная работа  | 54 | 9 |  |
| 30. | Экзамен | Экзамен   | 36 | 9 |  |

## **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Коваленко А.В., Узденова А.М., Уртенов М.Х., Никоненко В.В. Математическое моделирование физико-химических процессов в среде Comsol Multiphysics 5.2 [Электронный ресурс]:. - Москва: Лань, 2017. - – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93695> .

2. Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В. Моделирование физических процессов с использованием пакета comsol Multiphysics [Электронный ресурс]:учебное пособие для вузов. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. - 184 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=75844](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=75844) .

3. Вержбицкий В. М. Основы численных методов:учебник для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов "Прикладная математика". - Москва: Высшая школа, 2009. - 840 с..

4. Патанкар С., Виленский В. Д. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости:пер. с англ.. - Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 150 с..

5. Сегерлинд Л. Д., Шестаков А. А., Победри Б. Е. Применение метода конечных элементов:руководство. - Москва: Мир, 1979. - 392 с..

6. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики:учебник для физико-математических специальностей университетов. - Москва: Издательство МГУ, 2004. - 798 с..

7. Горбунов В. А. Моделирование теплогидравлических процессов в ядерных реакторах в Comsol multiphysics [Электронный ресурс]:учебное пособие. - Иваново: ИГЭУ, 2019. - 180 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/154554> .

8. Молокова Н.В., Рябов О.А., Татаренко А.А., Головчанская Е.В., Лопарев А.Ю., Сергиенко Т.В. Информационные технологии [Электронный ресурс]:электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: ИПК СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: [http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB\\_DC/UMKD/i-562681.zip](http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-562681.zip) .

9. Шниперов А. Н. Информатика [Электронный ресурс]:учеб.-метод. пособие по выполнению курс. работы. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u004/i-070144.pdf> .

**4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. COMSOL Multiphysics Floating Network Academic. Программное обеспечение моделирования и решения широкого спектра научных и инженерных задач.

**4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [https://elibrary.ru/project\\_user\\_tools.asp?](https://elibrary.ru/project_user_tools.asp?)

## **5 Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

**6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Компьютерный класс: Компьютеры, проектор

учебная аудитория (компьютерный класс): Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

### **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.25 Аддитивные технологии

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

Красноярск 2025

**1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами**

| Семестр <sup>1</sup>  | Код и содержание индикатора компетенции   | Результаты обучения <sup>2</sup>   | Оценочные средства <sup>3</sup>                                       |
|---|---|--|---|
| ОПК-3: Применяет знания и умения в области информационных технологий при проведении научно-исследовательских работ и решении прикладных задач |   |  |   |
| 8,9   | ОПК-3.1: Понимает основы современных информационных технологий  | знать принцип работы пакета COMSOL MultiPhysics  | Защита лабораторных работ;<br>Контрольные вопросы к зачету и экзамену |
| 8,9   | ОПК-3.2: Применяет знания и умения в области информационных технологий при проведении научно-исследовательских работ и решении прикладных задач | уметь использовать современные информационные технологии для решения прикладных задач                        | Защита лабораторных работ;<br>Контрольные вопросы к зачету и экзамену |
| ПК-3: Способен разрабатывать и применять новые материалы, исследовать их структуру и свойства   |   |  |   |
| 8,9   | ПК-3.1: Планирует процессы получения материалов и исследования их свойств   | уметь использовать пакет COMSOL MultiPhysics для физического моделирования                                   | Защита лабораторных работ;<br>Контрольные вопросы к зачету и экзамену |
| 8,9   | ПК-3.2: Анализирует перспективные материалы и их нано-, микро-, мезо- и макромасштабные свойства  | владеть способностью анализировать свойства материалов с помощью физического и математического моделирования | Защита лабораторных работ;<br>Контрольные вопросы к зачету и экзамену |

<sup>1</sup> Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

<sup>2</sup> Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

<sup>3</sup> Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

## **2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения**

### **Список лабораторных работ:**

#### **8 семестр**

1. Создание двухмерной осесимметричной модели трубы в теплоизоляции. Расчет нестационарный. Свойства материалов импортировать из библиотеки материалов или из справочника. Найти время выхода на стационар, вывести графики изменения температуры на границах труба-теплоизоляция и теплоизоляция-среда в зависимости от времени. Повторить расчет в одномерном осесимметричном режиме, сравнить результаты.
2. Создание двумерной нестационарной модели стержня с квадратным сечением со стороной  $A$ , в котором находится нагреватель мощностью  $B$  кВт, температура окружающей среды  $C$ . На всех границах задать конвективный теплообмен  $h=20$  Вт/м<sup>2</sup>К. Коэффициент черноты взять из справочника.
3. Анализ динамики движения фронта затвердевания (задача Стефана) Изучение фазовых переходов I рода на примере задачи плавления полубесконечной среды. Сделать анимацию движения профиля температуры с течением времени. Проанализировать изменение решения при увеличении теплопроводности.
4. Расчет тепловых полей при лазерной импульсной обработке (3D-модель). Исследовать динамику изменения теплового поля после воздействия одиночного импульса на поверхность образца Сравнить время, требуемое для оплавления и последующей кристаллизации поверхности, с периодом генерации импульсов.
5. Оптимизация нанесения функциональных покрытий методом на спекания порошковых материалов (3D-модель). Проанализировать процесс спекания слоя металлического порошка при лазерной обработке. Сделать анимацию движения профиля температуры с течением времени. Схематически зарисуйте динамику изменения изотерм с течением времени в расчетной области.
6. Построить модель длинной линии относительно напряжения и тока для однородной двухпроводной линии. Отражение волн напряжения и тока при коротком замыкании и холостого хода.

## 9 семестр

1. Построить модель «Магнитный тормоз» - вращающийся проводящий диск в постоянном магнитном поле.
2. Модель - Аттрактор Лоренца. Конвекция в плоском слое. Конвекция в замкнутой петле. Вращение водяного колеса. Одномодовый лазер.
3. Естественная конвекция в стакане с водой (3D-модель)– получить структуру возникающих течений и соответствующее распределение температуры.
4. Индукционный нагрев металлического цилиндра, с учетом уменьшения проводимости металла по мере увеличения температуры.
5. Модель сопла печати струйного принтера (3D-принтера). Геометрия выпускного устройства (сопла) или тип чернил для повышения скорости и разрешение изображений. Демонстрация моделирование потока жидкости через выпускное устройство струйного принтера (3D-принтера).
6. Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) поверхностной акустической волны в пьезоэлектрическом кристалле.
7. Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) мод волны Лэмба в пьезоэлектрическом кристаллической пластине.
8. Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) мод волны Лэмба (Лява) в многослойной пьезоэлектрической кристаллической структуре.
9. Расчет характеристик (фазовая скорости, поляризации, затухания, поток энергии) объемной акустической волны в фононом кристалле.

### **Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ**

Лабораторные занятия по дисциплине проходят в компьютерных классах. В рамках каждой лабораторной работы студент разрабатывает программу в соответствии с заданием. При разработке программы студент может воспользоваться подходом, предложенным в методических рекомендациях, или использовать собственный подход к решению задачи. После этапа разработки следует этап тестирования работоспособности программы и, при необходимости, доработкой программы. Заканчивается лабораторная работа защитой программы.

В процессе написания программы необходимо придерживаться следующих рекомендаций: максимально использовать возможности выбранного языка программирования, выделять части основной программы в отдельные функции и/или подпрограммы, элементы программы сопровождать комментариями, использовать стандартную программную

нотацию.

### **Критерии оценки защиты лабораторной работы:**

«Зачтено» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент демонстрирует работоспособную программу (проверена на тестовом примере), которая соответствует рекомендациям по написанию программ, студент легко ориентируется в программе и умеет сопоставить каждый этап вычисления с соответствующим разделом теории.

«Не зачтено» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент не демонстрирует вышеперечисленных знаний, умений, навыков.

### **Контрольные вопросы к зачету:**

1. Навигатор моделей и главное меню Model Wizard (Мастер создания модели).
2. Разнообразные геометрические примитивы. Наборы геометрических заготовок для различных задач физики.
2. Application Builder: среда разработки приложения. Мастер создания и настройки графических форм и объектов.
3. Редактор и компилятор макросов/скриптов на основе Java с прикладными функциями COMSOL.
4. Задание граничных условий и изменение дифференциальных уравнений. Построение сетки. Узел Mesh: Возможность ручной настройки сеточной последовательности.
5. Работа с материалами в COMSOL. Узел Material: контейнер физико-химических свойств.
6. Описание физики задачи в COMSOL. Узел Physics: постановка расчётной задачи. Программное представление решаемой задачи: управляющих уравнений, начальных/граничных условий, уравнений состояния.
7. Исследования и решатели в COMSOL Multiphysics. Узел Study: Доступные типы исследований. Stationary, Frequency Domain, Time Dependent, Eigenfrequency. Модальные техники, FFT и IFFT преобразования.
8. Параметрические и кластерные расчеты, оптимизационные исследования.
9. Визуализация результатов Постобработка результатов в COMSOL Multiphysics.
10. Узел Results в дереве модели Графики любой размерности и любого типа, вывод числовых данных в табличном формате, экспорт данных, отчеты.

## Методические рекомендации по проведению зачета

Для получения зачета в 8 семестре необходимо выполнить все лабораторные работы.

Если сданы не все лабораторные работы, то зачет проходит в устной форме. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

## Критерии оценивания знаний студентов на зачете

| Шкала оценивания  |   |
|---|---|
| незачет   | зачет   |
| Студент обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. Уровень знаний ниже минимальных требований. | Студент демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. При изложении материала допущено несколько несущественных погрешностей. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы. |

## Контрольные вопросы к экзамену:

1. Постобработка низкоразмерных объектов. Свойства тонкого слоя. Нарушения непрерывности. Операторы Up (Верх) и Down (Низ). Оператор Side (Сторона).
2. Механика конструкций. Расчеты на прочность и устойчивость в т.ч. механические примитивы.
3. Нелинейная механика. Упругопластические деформации. Контакты, трение, адгезия и декогезия.
4. Нелинейные модели материала, многослойные композитные оболочки FSI, электромеханика, термические напряжения, пьезоэффект.
5. Акустика. Акустические волны в жидких и газовых средах и твердых телах. Вибрационный анализ. Термовязкостная акустика микросистем. Продвинутый учет термических и вязких потерь, пьезоакустика, электроакустика, аэроакустика.
6. Сложный теплообмен. Теплопроводность, конвекция, излучение в т.ч. в тонких оболочках и биологических тканях. Модели термического повреждения.
7. Фазовые переходы. Испарение и конденсация. Неизотермические потоки, термические деформации, э/м нагрев, экзо- и эндотермические реакции, термоэлектричество и т.п.
8. Вычислительная гидродинамика. Ламинарные и турбулентные течения (RANS и LES). Процессы смешивания.

9. Электродинамика. Низкочастотная электротехника. Электростатика, электрические поля и токи, магнитные поля, индукционные эффекты.
10. Радиофизика. Излучатели, волноводные и резонансные системы, периодические решетки.
11. Волновая и геометрическая оптика Фотоника, плазмоника, интегральная оптика. Масштабные оптические системы.
12. Интеграция с MATLAB и Excel LiveLink for MATLAB-Simulink-Excel

### **Методические рекомендации по проведению экзамена:**

Для получения допуска к экзамену в 9 семестре необходимо выполнить все лабораторные работы.

Форма проведения экзамена – устная, по билетам, которые содержат 2 теоретических вопроса.

### **Критерии оценки экзамена**

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



С.И.Бурков