

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)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе

А.А. Панфилов

« 02 » 10

2015 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программное обеспечение для задач математической физики в электроэнергетике

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электроснабжение

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоёмкость, зач. ед./ час.	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаб. работ, час.	СРС, час.	Форма про- жуточного кон- троля (экз/зачёт)
четвёртый	7/252	18	18	-	180	Экзамен (36)
Итого	7/252	18	18	-	180	Экзамен (36)

Владимир – 2015

Год начала подготовки - 13, 14

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целями** изучения дисциплины являются: изучение математического программного обеспечения ПК, предназначенного для решения задач математической физики в электротехнических расчётах; формирование готовности участвовать в исследовании отдельных компонентов систем электроэнергетики и электротехники.

Необходимость в решении задач математической физики может возникать при проектировании элементов устройств электротехники и электроэнергетики на пространственно-распределённом уровне (т.е. на уровне физических полей) в 1D, 2D, 3D расчётных областях пространства. Такое ПО особенно необходимо в случае сложной геометрической формы проектируемого или анализируемого устройства при неоднородном пространственном распределении параметров электрофизических свойств материалов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Программное обеспечение для задач математической физики в электроэнергетике» относится к вариативной части дисциплин учебного плана направления подготовки бакалавров «Электроэнергетика и электротехника» для профиля «Электроснабжение» (блок Б1.В.ДВ). Дисциплина логически и содержательно-методически тесно связана с рядом других дисциплин учебного плана.

Дисциплины «Математика», «Информатика», «Вычислительная математика» формируют необходимые для решения задач математической физики способности к обобщению и анализу информации, навыки постановки цели и выбора путей её достижения; готовность использовать компьютер как одно из средств освоения новой дисциплины; способности математического анализа и моделирования электромагнитных и других физических полей; готовность выявить информационную основу алгоритмической реализации численных методов, применяемых при решении задач электротехники и электроэнергетики.

К числу дисциплин, наиболее тесно связанных с «Программным обеспечением для задач математической физики в электроэнергетике» (ПОЗМФЭ), относится «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ), первая часть которой была изучена семестром ранее, а вторая часть изучается параллельно с ПОЗМФЭ. В результате освоения ТОЭ студенты приобретают необходимые для изучения свойств объектов электротехники и электроэнергетики и анализа их режимов знания основных понятий и законов теории электрических и магнитных цепей. В результате изучения ПОЗМФЭ студенты овладевают начальными технологиями вычислительного математического моделирования свойств объектов электротехники и электроэнергетики на пространственно-распределённом уровне.

Знания и умения, получаемые в ходе изучения дисциплины ПОЗМФЭ служат базой для последующего изучения таких дисциплин как ТОЭ (часть 3), «Электромеханика», «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике», «Кабельные и воздушные линии».

Знания и умения, получаемые в ходе изучения дисциплины ПОЗМФЭ служат базой для последующего изучения таких дисциплин как ТОЭ (часть 3), «Устойчивость систем электроснабжения», «Информационно-измерительная техника и электроника», «Энергетическая электроника».

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

Знать:

И обладать способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

И обладать способностью применять соответствующий математический аппарат, методы анализа и моделирования при решении профессиональных задач (ОПК-2).

Уметь:

Осуществлять поиск, численную обработку и анализ информации с использованием компьютерных технологий (ОПК-1);

Применяя методы математического вычислительного моделирования определять параметры свойств объектов электротехники и электроэнергетики (ПК-5);

Математически моделировать и рассчитывать установившиеся режимы объектов электротехники и электроэнергетики (ПК-6) на пространственно-распределённом уровне.

Владеть:

Методами анализа и математического моделирования при решении профессиональных задач (ОПК-2);

Методами математического вычислительного моделирования для определения параметров свойств объектов электротехники и электроэнергетики (ПК-5), а также для расчёта режимов объектов электротехники и электроэнергетики (ПК-6) на пространственно-распределённом уровне.



## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы с приме- нением интерак- тивных методов (в часах / %)	Формы теку- щего контро- ля успеваемо- сти (по неделям семестра), форма про- межуточной аттестации (по семест- рам)	
				Лекции	Практические заня- тия	Лабораторные рабо- ты	Контрольные работы	СРС	КП / КР			
1	Классификация уравнений математической физики (дифференциальных уравнений в частных производных (PDE))	4	1,2	2	2				12		2/50%	
2	Краткий обзор CAE-систем для решения задач математической физики в анализе и проектировании	4	3	1	1				12		1/50%	
3	Введение в систему конечно-элементных расчётов COMSOL Multiphysics	4	4	1	1				12		1/50%	
4	Наиболее важные элементы построителя модели в COMSOL Multiphysics	4	5	1	1				12		1/50%	
5	Средства геометрического моделирования в COMSOL Multiphysics	4	6	1	1				12		1/50%	рейтинг-контроль
6	Типы переменных в модели COMSOL	4	7	1	1				12		1/50%	
7	Типы материальных под областей расчётной области в 1D, 2D, 3D	4	8	1	1				12		1/50%	
8	Задание материальных свойств под областей	4	9	1	1				12		1/50%	
9	Определение решаемой системы PDE, граничных и начальных условий	4	10	1	1				12		1/50%	

10	Наиболее важные операторы нелокальных связей	4	11	1	1			12		1/50%	рейтинг-контроль
11	Построение конечно-элементной сетки	4	12,13	2	2			12		2/50%	
12	Наиболее важные решатели в COMSOL Multiphysics	4	14	1	1			12		1/50%	
13	Запуск модели на решение в COMSOL Multiphysics	4	15	1	1			12		1/50%	
14	Основы постпроцессорной обработки решения	4	16,17	2	2			12		2/50%	
15	Визуализация в COMSOL Multiphysics	4	18	1	1			12		1/50%	рейтинг-контроль
Всего				18	18			180		18/50%	Экзамен (36)

#### Тематика практических занятий

1) Анализ и обсуждение классификационных признаков уравнений математической физики по линейности, стационарности, максимальному порядку пространственных и временных дифференциальных операторов, размерности пространственной расчётной области, эллиптичности, параболичности и гиперболичности (2 часа).

2) Обсуждение характеристик и возможностей CAE-систем для решения задач математической физики, применяемых в анализе и проектировании изделий техники (1 час).

3) Знакомство с системой конечно-элементных расчётов COMSOL Multiphysics и её интерфейсом (1 час).

4) Знакомство с наиболее важными элементами построителя модели в COMSOL Multiphysics (1 час).

5) Построение геометрических моделей расчётных областей в пакете COMSOL Multiphysics (1 час).

6) Создание и определение различных типов переменных в моделях COMSOL Multiphysics (1 час).

7) Задание параметров материальных свойств подобластей различной размерности в 1D, 2D, 3D расчётных областях (2 часа).

8) Наполнение геометрически построенных расчётных областей уравнениями математической физики и граничными условиями (1 час).

9) Создание операторов нелокальных связей в моделях COMSOL (1 час).

10) Упражнения по построению конечно-элементных сеток (2 часа).

- 11) Анализ и выбор решателей в COMSOL- модели (1 час).
- 12) Полное построение COMSOL- моделей с запуском решений (1 час).
- 13) Отработка действий по постпроцессорной обработке получаемых решений PDE (2 часа).
- 14) Визуализация пространственных распределений моделируемых физических полей (1 час).

#### **Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа студентов предусматривает самостоятельную подготовку по сбору, систематизации и обработке материала из предложенного списка литературы (и дополнительной литературы), лекционного материала, к практическим занятиям, рейтинг-контролю, экзамену. Сюда включается также самостоятельное выполнение расчётно-графической работы (РГР). Учебным планом предусмотрена одна расчётно- графическая работа на тему «Конечно- элементное моделирование поверхностного эффекта в круглом проводе».

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях, оборудованных компьютерами, электронными проекторами, что позволяет сочетать активные и интерактивные формы проведения занятий. Чтение лекций сопровождается демонстрацией компьютерных слайдов, комплект которых содержится в электронном приложении к рабочей программе. Интерактивные формы – компьютерные симуляции, а также разбор ситуаций, связанных с изменением исходных данных решаемых задач. Контроль текущей успеваемости и самостоятельной работы студентов производится в форме опросов. Перечни контрольных вопросов представлены ниже.

В рамках учебного курса предусмотрены встречи со специалистами, работающими в области электроэнергетики и электротехники.



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

### **6.1. Вопросы по разделам программы для проведения текущего контроля**

Рейтинг- контроль 1.

1. Как классифицируются PDE по линейности? Что означает этот классификационный признак?
2. Как классифицируются PDE по стационарности? Что означает этот классификационный признак?
3. Как классифицируются PDE по максимальному порядку пространственных и временных дифференциальных операторов? Что означают эти классификационные признаки?
4. Как классифицируются PDE по размерности пространственной расчётной области? Что означает этот классификационный признак?
5. Как классифицируются PDE по эллиптичности, параболичности и гиперболичности?
6. Как выглядит обобщённая коэффициентная форма PDE для неоднородной среды?
7. Как выглядит обобщённая дивергентная форма PDE для неоднородной среды?
8. В чём заключается сущность проекционных методов взвешенных невязок?
9. Как выглядит ослабленная проекционная форма PDE для неоднородной среды?
10. Для чего предназначен программный комплекс COMSOL Multiphysics?
11. Что представляет собой построитель модели в COMSOL Multiphysics? Какие настроечные параметры имеет корень построителя?
12. Что такое компонент COMSOL- модели с точки зрения классификации PDE?
13. Из каких подразделов состоит глобальный раздел построителя? Каково их назначение?
14. Как создаются и редактируются параметры COMSOL-модели? Каково их назначение?
15. Как создаются и редактируются глобальные пользовательские переменные COMSOL-модели?
16. Как создаются и редактируются глобальные функциональные зависимости COMSOL-модели?
17. Какие типы функциональных зависимостей поддерживаются построителем модели?
18. Какие настроечные параметры имеет корень компонента COMSOL-модели?
19. Из каких подразделов состоит компонент COMSOL-модели?
20. Как создаются и редактируются пользовательские переменные компонентного уровня?
21. Как создаются и редактируются функциональные зависимости компонентного уровня?

22. Как создаются и редактируются операторы нелокальных связей компонентного уровня?
23. Как создаются и редактируются круговые геометрические объекты?
24. Как создаются и редактируются эллиптические геометрические объекты?
25. Как создаются и редактируются прямоугольные геометрические объекты?
26. Как создаются и редактируются квадратные геометрические объекты?

#### Рейтинг- контроль 2.

1. Какие типы пользовательских переменных поддерживаются в COMSOL Multiphysics на компонентном уровне?
2. Что такое независимые переменные и как они связаны с размерностью расчётной области в COMSOL Multiphysics?
3. Какие типы материальных подобластей могут существовать в 1D расчётной области?
4. Какие типы материальных подобластей могут существовать в 2D расчётной области?
5. Какие типы материальных подобластей могут существовать в 3D расчётной области?
6. Какой смысл имеет 0D моделирование?
7. Как добавляется физико- математический интерфейс к компоненту COMSOL- модели?
8. Что такое зависимые переменные? Как редактируется их состав? Как редактировать список подобластей, в которых физико- математический интерфейс активен?
9. Из каких подразделов может состоять раздел физико- математического интерфейса в Построителе модели? Как управлять составом этих подразделов?
10. Как можно управлять распределением граничных условий по граничным сегментам расчётной области?
11. Как можно создавать и редактировать рёберные и точечные источники моделируемого физического поля?
12. Встроенные глобальные переменные: время, частота, фаза, число степеней свободы.
13. Геометрические переменные в COMSOL-моделях.
14. Переменные функций формы в COMSOL-моделях.
15. Встроенные физические константы в COMSOL Multiphysics.
16. Встроенные функции в COMSOL Multiphysics.
17. Типы операторов нелокальных связей в COMSOL Multiphysics.
18. Как создаются и редактируются пользовательские переменные, имеющие разные определяющие выражения в разных зонах расчётной области?
19. Как создаются и редактируются пользовательские переменные, имеющие разные определяющие выражения на разных граничных сегментах расчётной области?
20. Как создаются и редактируются пользовательские переменные, имеющие разные определяющие выражения на разных рёбрах расчётной области?



21. Как создаются и редактируются пользовательские переменные, имеющие разные определяющие выражения в разных вершинах расчётной области?
22. Как задавать разные PDE в разных зонах расчётной области?
23. Как задавать разные граничные условия в разных граничных сегментах расчётной области?
24. Как создаются и редактируются интегрирующие операторы?
25. Как создаются и редактируются усредняющие операторы?
26. Как создаются и редактируются операторы, определяющие максимумы и минимумы скалярных полей?

### Рейтинг- контроль 3.

1. Что такое конечный элемент, для чего строится конечно- элементная сетка при численном решении PDE?
2. Что такое конечно- элементная интерполяция? Что такое функции формы конечных элементов?
3. Что называют лагранжевыми конечными элементами? Как определяются их функции формы?
4. Как с помощью функций формы определяются пространственные дифференциальные операторы физических величин через их узловые распределения?
5. На чём основана проекционная конечно- элементная технология преобразования PDE в большую систему уравнений относительно узлового распределения моделируемого физического поля (зависимой переменной)?
6. Как в конечно- элементной технологии применяются интегральные теоремы понижения порядка пространственных дифференциальных операторов? Как из PDE получается ослабленная проекционная формулировка задачи математической физики?
7. Какую последовательность действий нужно выполнить, чтобы добавить и построить конечно- элементную сетку в выбранном компоненте модели?
8. Какие типы сеток поддерживаются в COMSOL Multiphysics в 2D?
9. Назовите наиболее важные операции над сетками.
10. Какие типы сеток поддерживаются в COMSOL Multiphysics в 1D?
11. Какие типы сеток поддерживаются в COMSOL Multiphysics в 3D?
12. Как в COMSOL-модель включить раздел управления решателями?
13. Какие типы разделов управления решателями поддерживаются в COMSOL Multiphysics?
14. Назовите наиболее важные команды раздела управления решателями.
15. Как можно управлять выбором решаемых физико- математических интерфейсов?
16. Как можно создать многошаговый раздел управления решателями?

17. Как запускается решение модели? Как контролируется прогресс и сходимость?
18. Какие типы линейных решателей поддерживаются в COMSOL Multiphysics?
19. Какие типы нелинейных решателей поддерживаются в COMSOL Multiphysics?
20. Какие типы графиков решения поддерживаются в 2D режиме моделирования?
21. Какие типы графиков решения поддерживаются в 1D режиме моделирования?
22. Какие типы графиков решения поддерживаются в 3D режиме моделирования?
23. Какие табличные способы представления результатов вычислений поддерживаются в COMSOL Multiphysics?

Контрольные вопросы по СРС.

1. Для чего предназначен программный комплекс ANSYS?
2. Для чего предназначен программный комплекс NASTRAN?
3. Для чего предназначен программный комплекс Abaqus?
4. Для чего предназначен программный комплекс LS-DYNA?
5. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются кривые и многоугольники Безье?
6. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются поточечно интерполируемые кривые?
7. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются кривые, задаваемые в параметрической форме?
8. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются точечные геометрические объекты?
9. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются многоугольники и ломаные?
10. Как в COMSOL Multiphysics создаются композиционные геометрические объекты с помощью операций над множествами?
11. Какие преобразования (трансформации) геометрических объектов поддерживаются в COMSOL Multiphysics?
12. Как в COMSOL Multiphysics осуществляется преобразование геометрического объекта в солидный (телесный), поверхностный, криволинейный и точечный (вершинный) вид?
13. Как в COMSOL Multiphysics снимаются фаски и закругляются углы?
14. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются прямоугольные параллелепипеды?
15. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются конические геометрические объекты?
16. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются цилиндрические геометрические объекты?

17. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются сферические геометрические объекты?
18. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются эксцентрические конические объекты?
19. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются эллипсоиды?
20. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются геликоиды?
21. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются параметрически задаваемые поверхности?
22. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются пирамиды?
23. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются тетраэдры?
24. Как в COMSOL Multiphysics создаются и редактируются торы?

## **6.2. Вопросы к экзамену**

1. Краткий обзор инженерных программ, в которых решаются задачи математической физики.
2. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных.
3. Задачи математической физики на основе PDE.
4. Обобщённая коэффициентная форма PDE для неоднородной среды.
5. Обобщённая дивергентная форма PDE для неоднородной среды.
6. Методы взвешенных невязок и ослабленная проекционная формулировка задачи математической физики.
7. Назначение программного комплекса COMSOL Multiphysics.
8. Построитель модели в COMSOL Multiphysics.
9. Компонент COMSOL- модели. Независимые переменные.
10. Параметры и глобальные пользовательские переменные COMSOL- модели.
11. Ввод функциональных зависимостей в COMSOL- модель.
12. Раздел определений компонента модели.
13. Обзор физико- математических интерфейсов ядра COMSOL Multiphysics.
14. Обзор модулей расширения COMSOL Multiphysics.
15. Разделы построителя модели, относящиеся к одному физико- математическому интерфейсу.
16. Типы материальных подобластей в 1D, 2D, 3D.
17. Пользовательские переменные в разделе определений компонента. Их уровни.
18. Переменные функций формы. Зависимые переменные.
19. Встроенные глобальные переменные в COMSOL Multiphysics.
20. Геометрические переменные в COMSOL Multiphysics.



21. Физические константы в COMSOL Multiphysics.
22. Операторы нелокальных связей в COMSOL Multiphysics.
23. Понятие о конечных элементах.
24. Конечно- элементная интерполяция. Функции формы. Их свойства и определение через координаты узлов.
25. Лагранжевы конечные элементы разного порядка и их полиномиальные функции формы.
26. Определение пространственных дифференциальных операторов физических величин через их узловое распределение и функции формы.
27. Проекционная конечно- элементная технология преобразования PDE в большую систему уравнений относительно узлового распределения моделируемого физического поля.
28. . Применение интегральных теорем понижения порядка пространственных дифференциальных операторов для получения ослабленной конечно- элементной формулировки задачи математической физики.
29. Типы конечно- элементных сеток, поддерживаемых в COMSOL Multiphysics.
30. Технология геометрических построений в 1D.
31. Технология геометрических построений в 2D.
32. Технология геометрических построений в 3D.
33. Типы разделов управления решателями в COMSOL Multiphysics.
34. Краткий обзор линейных и нелинейных решателей в COMSOL Multiphysics.
35. Типы графиков решения в 1D режиме моделирования.
36. Типы графиков решения в 2D режиме моделирования.
37. Типы графиков решения в 3D режиме моделирования.
38. Табличные способы представления результатов вычислений в COMSOL Multiphysics.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

а) основная литература (фонд библиотеки ВлГУ и электронные библиотечные системы со свободным доступом для сотрудников и студентов ВлГУ):

1. Уравнения в частных производных [Электронный ресурс]/ Треногин В.А., Недосекина И.С. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 228 с. – ISBN 978-5-9221-1448-6. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114486.html>.

2. Уравнения математической физики : теория и практика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / сост. В.Г. Абдрахманов, Г.Т. Булгакова. – М. : ФЛИНТА, 2014. – 338 с. – ISBN 978-5-9765-1988-6. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976519886.html>.

3. Функциональный анализ: учебное пособие / В.Л. Крепкогорский; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. – 116 с. – ISBN 978-5-7882-1650-8. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788216508.html>.

4. Задачи и упражнения по уравнениям математической физики [Электронный ресурс] / Соболева Е.С., Фатеева Г.М. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 96 с. - ISBN 978-5-9221-1053-2. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110532.html>.

б) дополнительная литература (фонд библиотеки ВлГУ и электронные библиотечные системы со свободным доступом для сотрудников и студентов ВлГУ):

1. Каталог САПР. Программы и производители. 2014-2015 [Электронный ресурс]/ П.Н. Латышев. 4-е изд. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2014. – 694 с.: ил. – (Серия "Системы проектирования") – ISBN 978-5-91359-142-5. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785913591425.html>.

2. Владимиров В.С., Жаринов В.В. Уравнения математической физики: Учеб. для вузов. - 2-е изд., стереотип. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 400 с. – ISBN 978-5-9221-0310-7. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922103107.html>.

3. Ильин А.М. Уравнения математической физики. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 192 с. – ISBN 978-5-9221-1036-5. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110365.html>.

4. Уравнения математической физики. Сборник задач с решениями: учебное пособие / В.Г. Крупин, А.Л. Павлов, Л.Г. Попов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 352 с. – ISBN 978-5-383-00640-5. – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383006405.html>.

в) периодические издания (фонд библиотеки ВлГУ):

1. Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий».
2. Журнал «Вестник РАН».
3. Журнал «Вычислительные технологии».
4. Журнал «Квант».

5. Журнал «Успехи математических наук».

г) Internet-ресурсы:

1. <https://www.cadferm-cis.ru/products/ansys/>

2. <http://www.mssoftware.ru/products/msc-nastran>

3. <https://www.comsol.ru/>

4. <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=6736&iid=275>

5. <https://www.cadferm-cis.ru/products/ansys/structures/lbdyna/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекции читаются в аудиториях кафедры ЭтЭн, оборудованных электронными проекторами (ауд. 520-3, 522-3, 517-3), с использованием иллюстративного электронного материала в стандартных графических форматах и в Microsoft Office.

Для выполнения расчётно- графической и контрольной работы, а также подготовки к практическим занятиям студенты могут воспользоваться компьютерным классом кафедры ЭтЭн (лаб. 519-3; 16 компьютеров) с применением офисного и математического ПО. Основным математическим ПО является система инженерных и научных расчётов MATLAB. Кроме ядра этой системы на компьютерах лаб. 519-3 установлен также пакет расширения, применяемый для конечно- элементного решения задач математической физики PDE Toolbox. Имеется также программный комплекс COMSOL Multiphysics.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Рабочую программу составил: Шмелёв В.Е., к.т.н., доцент кафедры «Электротехника и электроэнергетика» (ЭтЭн).

*В.Е. Шмелёв*

Рецензент: Начальник проектного отдела ООО "МФ-Электро"

Чебрякова Ю.С.



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭтЭн

Протокол №2 от 02.10.2015.

Заведующий кафедрой

*Сбитнев*

Сбитнев С.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» 2 октября 2015 года.

Протокол №2 от 02.10.2015.

Председатель комиссии

*Сбитнев*

Сбитнев С.А.

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.А. Сбитнев

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.А. Сбитнев

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.А. Сбитнев