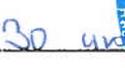


Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 А.Л. Толстик

 30 ч

Регистрационный № УД 2508 /уч.

КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 03 01 Математика (по направлениям)

1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность)

Минск 2016

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88 и учебного плана специальности (регистрационный №G31-135/уч., 30.05.2013).

СОСТАВИТЕЛЬ:

В. И. Яшкин – доцент кафедры общей математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой математической кибернетики Белорусского государственного университета
(протокол № 8 от 26.04.2016);

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 8 от 24.05.2016).



Яшкин В.И.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Быстрое развитие современной микроэлектроники требует от специалистов в этой области все более качественной математической подготовки. Такая подготовка необходима для студентов, специализирующихся по направлению «Научно-конструкторская деятельность». Дисциплина «Краевые задачи в микроэлектронике» является логическим продолжением курса «Уравнения математической физики». В данном курсе «Краевые задачи в микроэлектронике» основное внимание уделяется выработке навыка построения, решения и анализа математических моделей микроэлектроники с использованием программного обеспечения ПК.

Учебная дисциплина «Краевые задачи в микроэлектронике» относится к циклу специальных дисциплин и взаимодействует с дисциплиной «Уравнения математической физики».

Цель дисциплины – формирование базовых знаний и компетенций по краевым задачам в микроэлектронике и приобретение студентами знаний и навыков решения краевых задач с использованием специального и общего математического программного обеспечения.

Задачи дисциплины:

- изучение методов построения и решения математических моделей с применением различных принципов идеализации;
- получение навыков анализа решений задач в зависимости от свойств краевых условий с использованием программного обеспечения.

В результате изучения дисциплины «Краевые задачи в микроэлектронике» студенты должны:

знать

- дифференциальные модели и физические принципы основных технологических этапов производства ИС;
- методологию построения моделей электромагнитных полей с применением различных принципов идеализации и методы их решения;
- методы решения задач химической кинетики в микроэлектронике;
- методы решения краевых задач для уравнения Шрёдингера при изменении начальных и граничных условий;
- методы решения стохастических моделей микроэлектроники;
- методы решения краевых задач для поверхности полупроводников;

уметь

- проводить моделирование работы электронных схем с помощью компьютерных систем;
- применять метод энергетических неравенств для исследования краевых задач в нормированных пространствах;
- применять метод конечных разностей для аппроксимации краевых условий;
- исследовать особенности решений моделей и проводить их визуализацию при изменении краевых условий;

- **владеть:**

- терминологией дисциплины «Краевые задачи в микроэлектронике»;
- навыками решения краевых задач с использованием специального и общего математического программного обеспечения.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций.

Академические компетенции:

- – уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- – владеть системным и сравнительным анализом;
- – владеть исследовательскими навыками;
- – уметь работать самостоятельно;
- – иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- – обладать навыками устной и письменной коммуникации;
- – уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- – обладать качествами гражданственности;
- – быть способным к социальному взаимодействию;
- – обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- – владеть навыками здорового образа жизни;
- – быть способным к критике и самокритике (критическое мышление);
- – уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- – использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру;
- – пользоваться информационными ресурсами Интернет, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой;
- – применять полученные знания фундаментальных положений краевых задач для дифференциальных уравнений, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной, научно-технической и научно-педагогической работы.

При изучении дисциплины рекомендуется использовать: мультимедиа-средства обучения; элементы проблемного обучения; элементы творческого характера на занятиях и при выполнении самостоятельной работы; рейтинговую систему оценки знаний. Программа отражает профессиональную направленность дисциплины и учитывает современные методики в образовании студентов-математиков. По программе дисциплины студенты выполняют реферативную работу, которая предполагает творческое применение математических методов для решения краевых задач в различных областях

микроэлектроники. Программа составлена по модульному принципу, позволяющему учитывать динамику достижений в области электроники и программного обеспечения. В программе заложены возможности для освоения методик теории краевых задач для дифференциальных уравнений в области наноэлектроники.

Программа учебной дисциплины «Краевые задачи в микроэлектронике» разработана для направления специальности 1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность) очной формы получения образования для студентов 4 курса (7 семестр).

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины, составляет 120 часов, из них количество аудиторных часов – 72. На проведение лекционных занятий отводится 36 часов, на лабораторные занятия – 30 часов, УСП – 6 часов. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Аппаратное и программное обеспечение. Аппаратное обеспечение. Понятие архитектуры вычислительных систем и развитие информационных технологий. Устройства с ПЗС. Технологии и алгоритмы обработки изображений интегральных микросхем. Форматы данных. Растровая графика. Векторная графика. Цветовые системы. Технологии дисплеев. 3D-дисплеи. Технологии DVD и Flash-накопителей. Программное обеспечение микроэлектроники и математических дисциплин. САЕ-системы. Системы CAD/CAM/PDM. Алгоритмические основы построения 2D- и 3D-изображений. Технологии ActiveX.

Раздел 2. Краевые задачи физико-химических процессов микроэлектроники. Визуализация решений уравнений математической физики. Необходимые сведения из теории дифференциальных уравнений и математической физики, теории вероятностей, математической статистики. Необходимые сведения из физики и технологии производства. Задачи химической кинетики. Определение потенциала иона. Краевые задачи о распределении энергии электронов в теории Зоммерфельда. Диффузия в полупроводниках. Методы проведения и расчет распределения примеси легирования. Методы проведения эпитаксии и их дифференциальные модели. Задачи для дифференциальных и интегральных уравнений электромагнитного поля. Моделирование граничных условий в электродинамике. Краевые задачи для низкочастотных электрических и магнитных полей. Задача о преобразовании электромагнитной энергии в тепловую. Задачи поверхности полупроводников. Краевые задачи на границах с полупроводниками. Задачи кинетики адсорбции и десорбции. Фотоадсорбция в полупроводниках. Моделирование электронных схем. Пассивные элементы. Активные элементы.

Раздел 3. Аналитическое исследование краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными. Некоторые сведения о нормированных пространствах. Энергетические неравенства. Краевая задача для одномерного параболического уравнения. Смешанная задача для гиперболического уравнения. Центральнo-симметрическая смешанная задача для гиперболического уравнения. Смешанная задача для эллиптических уравнений. Корректность краевых задач. Аналитические решения системы уравнений Максвелла.

Раздел 4. Численное исследование краевых задач. Разностные схемы. Разностная аппроксимация задач для уравнений математической физики. Численное моделирование микроэлектронных структур. Краевые (граничные) задачи вычислительных моделей базового кристалла. Применение метода Монте-Карло для решения краевых задач. Решение краевых задач для нестационарного уравнения Шредингера. Численный расчет надежности и контроль качества электронных схем. Численная модель прогнозирования радиационной деградации параметров КМОП ИС.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Иное				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Аппаратное и программное обеспечение	4							
1.1	Аппаратное обеспечение. Понятие архитектуры вычислительных систем и развитие информационных технологий. Устройства с ПЗС. Технологии и алгоритмы обработки изображений интегральных микросхем. Форматы данных. Растровая графика. Векторная графика. Цветовые системы. Технологии дисплеев. 3D-дисплеи. Технологии DVD и Flash-накопителей.	2					Лекционная компьютерная презентация, УМК	[6] [10] [11] [12]	
1.2	Программное обеспечение микроэлектроники и математических дисциплин. САЕ-системы. Системы CAD/CAM/PDM. Алгоритмические основы построения 2D- и 3D-изображений. Технологии ActiveX.	2					Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [5] [9]	
2	Раздел 2. Краевые задачи физико-химических процессов микроэлектроники	14		14		2			
2.1.	Визуализация решений уравнений математической физики в САЕ-системах. Необходимые сведения из теории дифференциальных уравнений и математической физики, теории вероятностей, математической статистики.	2		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[8] [1]	Устный опрос, отчет по лабораторной работе
2.2	Задачи химической кинетики. Диффузия в полупроводниках. Методы проведения и расчет распределения примеси легирования. Методы проведения эпитаксии и их дифференциальные модели.	4		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [10] [11]	Контрольная работа. Отчет по лабораторной работе

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3	Задачи для дифференциальных и интегральных уравнений электромагнитного поля. Моделирование граничных условий в электродинамике. Краевые задачи для низкочастотных электрических и магнитных полей. Задача о преобразовании электромагнитной энергии в тепловую.	4		4			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [2] [3] [14]	
2.4	Определение потенциала иона. Краевые задачи о распределении энергии электронов в теории Зоммерфельда.	2		4			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [2]	
2.5	Моделирование электронных схем. Пассивные элементы. Активные элементы.	2		2		2	Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [15]	Контрольная работа по разделу 2
3	Раздел 3. Аналитическое исследование краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными	10		6					
3.1	Некоторые сведения о нормированных пространствах. Энергетические неравенства.	2		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[6] [3] [13]	Отчет по лабораторной работе
3.2	Краевая задача для одномерного параболического уравнения. Смешанная задача для гиперболического уравнения. Центрально-симметрическая смешанная задача для гиперболического уравнения.	4		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[9] [3] [8] [13]	Отчет по лабораторной работе
3.3	Смешанная задача для эллиптических уравнений. Корректность краевых задач.	4		2				[6] [3] [16]	Устный опрос. Отчет по лабораторной работе

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Раздел 4. Численное исследование краевых задач	8		10		4			
4.1	Разностные схемы. Разностная аппроксимация задач для уравнений математической физики.	2		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[1] [8] [3]	Отчет по лабораторной работе
4.2	Численное моделирование микроэлектронных структур. Краевые (граничные) задачи вычислительных моделей базового кристалла.	2		2			Лекционная компьютерная презентация, УМК	[7] [8] [3]	Отчет по лабораторной работе
4.3	Применение метода Монте-Карло для решения краевых задач. Решение краевых задач для нестационарного уравнения Шредингера.	2		4				[4] [5] [1]	
4.4	Численный расчет надежности и контроль качества электронных схем. Численная модель прогнозирования радиационной деградации параметров КМОП ИС.	2		2				[4] [5] [6] [7] [10]-[12]	
4.5	Текущий контроль успеваемости студентов по разделам 3 и 4.					2			Контрольная работа по разделам 3 и 4
4.6	Подготовка и защита реферативных работ.					2			Защита реферативной работы
	ИТОГО	36		30		6			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Голосков, Д. П. Уравнения математической физики. Решение задач в системе Maple. Учебник для вузов. /Д.П. Голосков. – СПб.: Питер, 2004.– 569 с.: ил.
2. Ерофеенко, В.Т. Аналитическое моделирование в электродинамике / В.Т. Ерофеенко, И.С. Козловская. – Минск: БГУ, 2010. – 303 с. : ил.
3. Ладыженская, О. А. Краевые задачи математической физики /О. А. Ладыженская. – М.: Наука, 1973. – 408 с.
4. Мулярчик, С. Г. Вычислительная электроника /С. Г. Мулярчик. – Минск: БГУ, 2003. – 148 с.
5. Росадо, Л. Физическая электроника и микроэлектроника /Л. Росадо. – М.: Высш. школа, 1991. –351 с. : ил.
6. Яшкин, В.И. Краевые задачи в микроэлектронике: Учебное пособие для студентов специализации “Математическая электроника” /В.И. Яшкин. – Минск: БГУ, 2004. – 76 с.

Дополнительная

7. Кулешов, А.А. Уравнения математической физики в системе Mathematica /А.А. Кулешов. – Минск: БГУ, 2004. – 348 с.
8. Ломовцев, Ф. Е. Задача Коши для гиперболических дифференциально-операторных уравнений четных порядков с переменными областями определения разрывных коэффициентов / Ф.Е. Ломовцев // Докл. НАН Беларуси. 2002. Т. 46, № 4. С. 43–47.
9. Ломовцев, Ф. Е. Задача Коши для гиперболических дифференциально-операторных уравнений второго порядка / Ф.Е. Ломовцев, Н.И. Юрчук // Дифференциальные уравнения. 1976. Т. 12, № 12. С. 2242–2250.
10. Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. II Междунар. науч. конф., Минск, 5–6 окт. 2006 г. / редкол.: В.Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2006. – 259 с.
11. Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., Минск, 4–6 окт. 2008 г. / редкол.: В.Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2008. – 240 с.
- 12.
13. Радыно, Я. В. Задача Коши для некоторых абстрактных гиперболических уравнений четного порядка / Я.В. Радыно, Н.И. Юрчук // Дифференциальные уравнения. 1976. Т. 12, № 2. С. 331–342.
14. Скатецкий, В.Г. Математическое моделирование физико-химических процессов. / В.Г. Скатецкий , Д.В. Свиридов , В.И. Яшкин – Минск: БГУ 2003. – 293 с.: ил.
15. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. – 488 с.

16. Yurchuk, N.I. Regularization by non-local conditions of the incorrect problems for differential-operator equations / N.I. Yurchuk // Тр. Института математики АН РБ. Т. 6. Минск, 2000. – С. 244–247.

Организация самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов является предоставление студентам необходимой информации, проведение регулярных консультаций преподавателем, а также периодичная отчетность студентов по результатам самостоятельной работы. В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы для лабораторных и практических занятий;
- график консультаций преподавателей;
- темы реферативных проектов;
- вопросы к экзамену;
- сроки проведения контролируемых мероприятий по различным видам учебной деятельности:

Для дополнительного развития творческих способностей студентов дается информация и мотивируется участие:

- в студенческих научно-практических конференциях и семинарах;
- в студенческих олимпиадах, научных, научно-практических конкурсах.

Примерный перечень средств диагностики знаний учебной деятельности

1. Отчет по лабораторной работе.
2. Устный опрос.
3. Защита реферативной работы.
4. Контрольные работы.

Рекомендуемые темы лабораторных занятий

1. Применение цветовых моделей в САЕ- и САD-системах.
2. Визуализация решений уравнений математической физики в САЕ-системах.
3. Задачи химической кинетики.
4. Задачи для дифференциальных и интегральных уравнений электромагнитного поля.
5. Моделирование граничных условий в электродинамике.
6. Задача о преобразовании электромагнитной энергии в тепловую.
7. Определение потенциала иона.
8. Краевые задачи о распределении энергии электронов в теории Зоммерфельда.

9. Моделирование электронных схем. Пассивные элементы. Активные элементы.
10. Краевая задача для одномерного параболического уравнения.
11. Смешанная задача для гиперболического уравнения. Центральносимметрическая смешанная задача для гиперболического уравнения.
12. Смешанная задача для эллиптических уравнений. Корректность краевых задач.
13. Визуализация решений моделей технологии микроэлектроники.
14. Разностная аппроксимация задач для уравнений математической физики.
15. Численное моделирование микроэлектронных структур.
16. Применение метода Монте-Карло для решения краевых задач с частными производными.
17. Численная модель прогнозирования радиационной деградации параметров КМОП ИС.
18. Решение краевых задач для нестационарного уравнения Шредингера..

Примерный перечень заданий для контрольных работ

Контрольная работа № 1.

Краевые задачи физико-химических процессов микроэлектроники

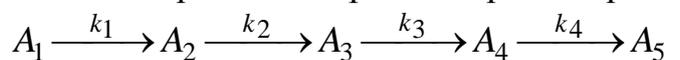
1. Пусть имеем n сенсоров, каждый из которых чувствителен к n компонентам химической смеси одновременно. При этом для каждого сенсора выполняются следующие условия: сигналы, обусловленные присутствием в смеси каждого из веществ, дают аддитивный вклад в общий вклад сенсоров; величина сигнала от определенного компонента прямо пропорциональна его концентрации, причем значения коэффициентов пропорциональности для каждого из веществ индивидуальны.

Пользуясь данными табл. 1: 1) определить концентрации веществ A_1, A_2, A_3, A_4 ; 2) в системе Mathematica по параметру w построить анимацию изменения концентраций веществ A_1, A_2, A_3, A_4 .

Таблица 1.

№ сенсора	Коэффициенты пропорциональности				Регистрируемый сигнал
1	5,266	0	1,156	0,412	0,412
2	0,858	3,222	0,983	0,356	0,356
3	5,266	3,211	1,520 w	0,213	0,213
4	1,156	0	1,041	9,645 w	9,645 w

2. Известно, что химическая реакция первого порядка протекает по схеме:



Пользуясь данными табл. 2: 1) решить задачу Коши для системы ОДУ относительно концентраций веществ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 в каждый момент време-

ни $t \in [0; T]$; 2) в системе Mathematica построить анимацию изменения концентраций веществ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 по времени t и по одной (указанной в варианте) константе скорости реакции.

Таблица 2.

Компоненты	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Начальные концентрации	10,41	0	0	0	0
Константы скорости реакции	$k_1=0,66$	$k_2=0,29$	$k_3=0,24$	$k_4=0,12$	-
$T=9$	$t_1=2$	$t_2=4$	$t_3=6$	$t_4=8$	-

3. В системе Maple найдите корни уравнений

$$y^*(x) = z^*(x)$$

и сделайте графическую иллюстрацию, если

$y^*(x)$ – решение граничной задачи

$$\begin{cases} y''(x) + \frac{1}{x}y'(x) + \left(4 - \frac{2}{x^2}\right)y(x) = 0, \\ y(-10) = y(10) = 0, \end{cases}$$

$z^*(x)$ – решение граничной задачи

$$\begin{cases} z''(x) + \frac{2}{x}z'(x) - \left(1 + \frac{3}{x^2}\right)z(x) = 0, \\ z(-10) = z(10) = 0. \end{cases}$$

Контрольная работа № 2.

2.1. Аналитические исследования краевых задач для дифференциальных уравнений с частными производными

В системе Maple решить граничную задачу (1), (2):

$$\frac{d^2\Psi(x)}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{\hbar^2} W(x)\Psi(x) = 0, \quad (1)$$

$$\Psi(0) = \Psi(L) = 0. \quad (2)$$

Построить графики полученных решений $\Psi(x)$.

2.2. Численное исследование краевых задач

Дан тонкий однородный стержень длиной L с теплоизолированной боковой поверхностью, начальная температура которого $u(x, 0) = x$ для $0 < x < L$. На конце стержня $x = 0$ температура поддерживается равной 0, а температура конца стержня $x = L$ изменяется по закону $u(L, t) = e^{-t}$. Построить конечно-

разностную задачу распределения температуры $u(x, t)$ в стержне. В системе Mathematica построить анимацию изменения температуры $u(x, t)$ от значений начальных условий $u(x, 0)$.

Требования к реферативным работам

I. В указанный срок сдать на проверку электронную копию реферативной работы на и твердую копию на листах А4, удовлетворяющие требованиям, указанным в п. II.

II. Структура проекта: титульный лист, вводная часть, основная часть, справочная часть, литература и содержание.

Объем основной части 10–20 страниц.

Обязательно надо указывать страницы в ссылках на литературу (например, [3, с. 41–47]).

III. Формат документа – формат Microsoft Word 2003/2007.

Параметры страницы, абзаца и формул:

- 1) поля – все по 3,0 см;
- 2) отступ от края для нижнего колонтитула – 2,25 см;
- 3) шрифт основного текста – Times New Roman, 14 пт; шрифт заголовков – 16 пт, полужирный.
- 4) шаблон Normal;
- 5) в абзацах одинарный междустрочный интервал;
- 6) табуляция – 0,8 см;
- 7) выравнивание основного текста по ширине страницы;
- 8) графики, таблицы, рисунки вставлять путем внедрения;
- 9) набор формул в MathType либо в Microsoft Equation 3 (основные символы 14 пт, индексы 12 пт, подиндексы 10 пт, большие символы 16 пт);
- 10) номера страниц ставить в нижнем колонтитуле с выравниванием от центра, шрифт 12 пт.
- 11) перенос слов автоматический с шириной зоны переноса 0,25 см.

Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Моделирование структур на основе полупроводниковых материалов современной электроники.
2. Краевые задачи одномерных моделей диффузионного перераспределения примеси в кремнии.
3. Интерактивная модель электронно-дырочного перехода.
4. Краевые задачи выпрямления на контакте металл–полупроводник.
5. Математическая модель магниторезистивного эффекта.
6. Математические модели теории квазисвободного электрона.
7. Краевая задача экранирования для плоского экрана.
8. Краевые задачи технологии эпитаксиальных слоев.
9. Краевые задачи технологии ионной имплантации.

10. Математические модели технологии тонких пленок.
11. Математическое описание аномальных результатов процесса диффузии примесей в планарной технологии кремниевых приборов.
12. Исследование особенностей решений первой смешанной задачи для гиперболического уравнения с двумя пространственными переменными.
13. Исследование особенностей решений второй смешанной задачи для гиперболического уравнения с двумя пространственными переменными.
14. Решение краевых задач для нестационарного уравнения Шредингера.
15. Сравнительный анализ методов решения смешанных задач для уравнения диффузии с одной пространственной переменной.
16. Стохастические модели микроэлектроники.
17. Метод Монте-Карло решения краевых задач.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, контрольную работу, отчеты по лабораторным работам. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Реферативные работы, оформленные согласно указанным выше требованиям, сдаются преподавателю в установленные сроки в электронном и в печатном виде. Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале с учетом:

- 1) полноты изложенного по теме материала;
- 2) умения описывать физические, физико-химические процессы по теме реферата;
- 3) умения проводить математическое обоснование полученных результатов;
- 4) умения объяснять графические иллюстрации и демонстрировать их создание в компьютерных системах.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую из лабораторных работ, оценки за контрольную работу и устный опрос, оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине – зачет.

