Рабочая программа утверждена в составе учебного плана (-ов): ***<u>18/5006/1</u>***

Заместитель начальника Управления образовательных программ Т.В.Фролова

Правительство Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный университет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы вычислений и вычислительный практикум
Methods of Computation and Computational Workshop

Язык(и) обучения

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 002214

2018

Раздел 1. Характеристики учебных занятий

1.1. Цели и задачи учебных занятий

Цель курса – обучение методам вычислительной математики; развитие у обучающихся доказательного, логического мышления; знакомство с различными численными методами, подготовка к самостоятельному решению различных вычислительных задач.

Задачи курса – дать общее представление о содержании, задачах и методах современных численных методов как самостоятельной научной дисциплины, а также их приложениях в конкретных предметных областях.

Обучающийся должен освоить теоретические основы методов вычислений, в том числе интерполирование, вычисление интегралов, решение задач линейной алгебры, методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений.

Курс построен на принципах компетентностного, деятельностного подхода к вычислительной математике как средству обоснованного проведения различных расчетов с применением высокопроизводительных компьютеров, что предполагает распределение содержания обучения вычислительной математике по следующим видам деятельности: изучение теоретического материала на занятиях лекционного типа, а также составление алгоритмов, отладка программ, численный счет в рамках лабораторных работ.

Основным принципом построения программы курса, равно как и всей концепции обучения дисциплине методов вычислений в целом, является принцип поэтапного системного накопления знаний и формирования необходимых компетенций по модели: от простого и/или знакомого – к сложному и/или незнакомому, а основной методологической стратегией прохождения отдельных разделов программы является ступенчатость и цикличность, предусматривающие постепенный возврат к ранее усвоенному материалу на более высоком концептуальном уровне.

1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Программа курса предназначена для обучающихся, изучавших математику в объеме двух курсов математико-механического факультета и владеющих базовыми навыками работы с компьютером.
Максимальная эффективность обучения будет обеспечена при условии, если учащийся
- владеет основами математического анализа, линейной алгебры, дифф.уравнений;
- владеет основами программирования, достаточными для составления простых программ.

1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

Умение приближать функции с заданной погрешностью, приближенно вычислять одномерные интегралы с помощью квадратурных формул, решать основные задачи линейной алгебры, строить приближенные решения задачи Коши и граничных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений в соответствии с программой курса.

Дисциплина участвует в формировании компетенций обучающихся по образовательной программе, установленных учебным планом для данной дисциплины.

1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий

Аудиторная учебная работа: лекции в объеме 32 акад. часа, 30 часов лабораторных работ (вычислительный практикум), промежуточная аттестация (зачет) – 2 часа.

Самостоятельная работа:
а) в присутствии преподавателя (работа в компьютерном классе на практикуме);
б) без участия преподавателя (индивидуальная работа с доступными информационными и образовательными ресурсами, имеющимися в библиотеке, в открытом доступе в сети Интернет и локальной сети Университета с целью преодоления индивидуальных трудностей в освоении отдельных разделов курса, а также удовлетворения личных познавательных потребностей).

Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий
2.1. Организация учебных занятий

2.1.1 Основной курс

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся																		
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Контактная работа обучающихся с преподавателем												Самостоятельная работа				Объём активных и интерактивных форм учебных занятий	Трудоёмкость
	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам. раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)	итоговая аттестация (сам.раб.)		
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
Форма обучения: очная																		
Семестр 5	32				30				2				41		3		16	3
	2-100				5-8				10-25				1-1		1-1			
ИТОГО	32				30				2				41		3			3

Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации						
Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п.	Формы текущего контроля успеваемости		Виды промежуточной аттестации		Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)	
	Формы	Сроки	Виды	Сроки	Виды	Сроки
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ						
Форма обучения: очная						
Семестр 5			зачёт, устно, традиционная форма	по графику промежуточной аттестации		

2.2. Структура и содержание учебных занятий

Курс обучения состоит из двух разделов: Методы вычислений (лекции) и Вычислительный практикум (лабораторные работы)

Структура курса лекций:
I. Введение
II. Приближение функций
III. Приближенное вычисление интегралов
IV. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений

Содержание курса лекций:

РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ
Предмет вычислительной математики. Понятие приближенной задачи. Мера близости приближенного и точного решений. Влияние ошибок исходных данных на результат.

РАЗДЕЛ II. ПРИБЛИЖЕНИЕ ФУНКЦИЙ
Равномерное приближение функций. Полиномы Чебышева. Конечные и разделенные разности и их свойства. Алгебраическая интерполяция. Формулы Лагранжа и Ньютона. Погрешность интерполяции. Представление остатка. Функция и постоянная Лебега, оценки постоянной Лебега в случае равноотстоящих узлов и узлов Чебышева. Интерполирование Эрмита: разрешимость задачи и представление остатка. Численное дифференцирование: способ решения задачи, простейшие формулы, вопросы устойчивости. Тригонометрическая интерполяция: разрешимость задачи, случай равноотстоящих узлов. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье.

РАЗДЕЛ III . ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛОВ
Квадратурные формулы, понятие алгебраической степени точности. Интерполяционные квадратурные формулы. Квадратурные формулы с постоянным весом: понятие подобных формул, формулы Ньютона-Котеса. Составные квадратурные формулы. Квадратурные формулы гауссова типа и их свойства. Интегрирование периодических функций.

РАЗДЕЛ IV. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
Простейшие методы решения задачи Коши. Методы Адамса. Способы построения начала таблицы: разложение в ряд Тейлора, способ А.Н. Крылова. Метод Рунге - Кутты. Граничные задачи для линейных уравнений: метод сведения к задачам Коши.

Содержание Вычислительного практикума:

Задание 1: «Методы решения нелинейных уравнений»
(Метод бисекции, метод Ньютона, метод секущих, метод хорд, метод простой итерации).

Задание 2: «Алгебраическое интерполирование»
(Таблица разделённых разностей и её применение в задаче алгебраического интерполирования и интерполирования Эрмита).

Задание 3: «Формулы численного дифференцирования. Задача обратного интерполирования»

Задание 4: «Приближённое вычисление интегралов»
(Применение составных квадратурных формул для вычисления интегралов).

Задание 5: «Классические ортогональные многочлены»
(Многочлены Лежандра, многочлены Чебышёва 1-го и 2-го рода)

Задание 6: «Квадратурные формулы наивысшей алгебраической степени точности»:
(КФ Гаусса, построение КФ наивысшей степени точности с весом).

Задание 7: «Методы решения Задачи Коши для ОДУ»
(Метод разложения в ряд Тейлора, численные методы решения Задачи Коши для ОДУ первого порядка).

Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

3.1. Методическое обеспечение

3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Методические материалы включают в себя следующие типы материалов — учебники, учебные пособия; методические указания; презентации и эл. конспекты занятий, высылаемые обучающимся на корпоративную почту; Интернет-ресурсы, электронные учебные пособия, разработанные на Кафедре вычислительной математики и размещенные в репозитории СПбГУ.

3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Самостоятельная работа обучающегося, как вид деятельности, стимулирующий активность, самостоятельность, познавательный интерес с целью поиска необходимой информации, приобретения знаний, использования этих знаний для решения учебных, научных и профессиональных задач, представляет собой важную составляющую учебного процесса, которой отводится не менее половины учебного времени при очной форме обучения.

Время, отводимое на самостоятельную работу, должно использоваться обучающимися для наиболее полного освоения учебной дисциплины. Следовательно, организация эффективной внеаудиторной самостоятельной работы в процессе обучения требует, с одной стороны, создание условий, призванных обеспечить рациональное и планомерное управление учебной деятельностью, протекающей в отсутствие преподавателя, и тщательной подготовки целого ряда учебных пособий, снабженных методическими указаниями, с другой стороны.

К числу предлагаемых методических пособий относятся:

- учебно-тематический план работы, в котором определена тематика и виды самостоятельной работы и указан рекомендуемый объем материала и время его освоения;
- общие методические рекомендации, указания по выполнению лабораторных работ, конспекты и презентации занятий, высылаемые на эл.почту обучающегося;
- подробные электронные учебно-методические пособия, разработанные на Кафедре вычислительной математики и размещенные в репозитории СПбГУ.

Роль преподавателя в организации самостоятельной работы состоит в координации действий обучающихся в освоении дисциплины, в методическом и организационном обеспечении учебного процесса. Взаимодействие между преподавателем и обучающимся осуществляется в форме консультаций, в том числе по эл.почте и в Skype или MsTeams.

Контроль за самостоятельной работой осуществляется в форме коротких опросов (самостоятельных работ) и тестов по темам.

3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Для получения зачета по дисциплине, обучающийся должен выполнить все (100%) заданий по Вычислительному практикуму, а также на зачете продемонстрировать и подтвердить хороший уровень овладения теоретическим материалом из курса лекций.

На теоретическом зачете обучающемуся будет предложено сдать две формулировки по курсу (из списка обязательных), решить несложную теоретическую задачу, дать ответ на 1 вопрос из списка вопросов (с доказательствами).

При оценивании теоретического зачета учитывается:

• знание определений, формулировок и доказательств утверждений и теорем
• знание фактического материала курса
• владение необходимым математическим аппаратом
• умение применять имеющиеся теоретические знания при решении задач
• критическое и самостоятельное изложение материала
• способность отвечать на дополнительные вопросы по программе

Промежуточная аттестация (зачет) проводится в устно-письменной форме согласно схеме:

1) Обучающийся получает две формулировки, ответ на которые он должен дать сразу, наизусть (написать в течение 5-7 минут и озвучить преподавателю). В случае, если в ответе есть неточности, ему будет предложено их исправить. Если обучающийся вносит исправления быстро (не более 2 минут) и самостоятельно (без наводящих вопросов), считается, что обязательные формулировки он сдал и переходит ко второй части теоретического зачета. Иначе, обучающийся получает отметку «не зачтено».
2) Обучающийся получает теоретическую задачу, на решение которой дается не более 20 минут. В случае, если обучающийся в семестре посетил не менее 75% лекций, при решении задачи он может пользоваться конспектом (иначе пользоваться конспектом и другими источниками нельзя). После он озвучивает решение преподавателю. В случае. Если решение задачи верное, – обучающийся переходит к третьей части теоретического зачета. Если задача решена неверно, обучающийся получает отметку «не зачтено».
3) Обучающийся получает вопрос из списка, на подготовку ответа на который дается не более 20 минут. В случае, если обучающийся в семестре посетил не менее 75% лекций, при подготовке он может воспользоваться конспектом (иначе пользоваться конспектом и другими источниками нельзя). После он озвучивает ответ преподавателю. Если обучающийся дал полный правильный ответ, без неточностей, он получает оценку «зачтено» по теории. И в случае, если у него сданы все (100%) заданий по ВычПрактикуму, получает общую оценку «зачтено» по предмету.

Оценка «не зачтено» по дисциплине также ставится обучающемуся если им сданы не все задания по ВычПрактикуму (лабораторные работы), даже если на теоретическом зачете он получил отметку «зачтено».

3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

Компетенции, впервые формируемые дисциплиной:

Нет.

Компетенции, развиваемые дисциплиной:

ПКА-1 — способен применять фундаментальные знания, полученные в области математики, программирования и информационных технологий, и использовать их в профессиональной деятельности.

ПКП-1 — способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий.

Компетенции, полностью сформированные по результатам освоения дисциплины:

Нет.

Для каждой компетенции применяется линейная шкала оценивания, определяемая долей успешно выполненных заданий, проверяющих данную компетенцию.

Список формулировок к зачёту по курсу
«Методы вычислений и вычислительный практикум»

1. Постановка задачи алгебраического интерполирования.
2. Представление интерполяционного алгебраического многочлена в форме Лагранжа.
3. Представление интерполяционного алгебраического многочлена в форме Ньютона.
4. Интерполирование по равноотстоящим узлам. Интерполяционная формула Ньютона для начала таблицы.
5. Интерполирование по равноотстоящим узлам. Интерполяционная формула Ньютона для конца таблицы.
6. Теорема о представлении погрешности алгебраического интерполирования.
7. Постановка задачи интерполирования Эрмита.
8. Представление остаточного члена в эрмитовом интерполировании.
9. Простейшие формулы численного дифференцирования для приближенного вычисления первой и второй производной таблично-заданной функции. Порядок погрешности формул.
10. Теорема о погрешности формулы численного дифференцирования.
11. Определение семейства многочленов, ортогональных с весом $w(x)$ относительно промежутка [a, b].
12. Уравнение Пирсона. Частные случаи, в которых решение обладает свойствами веса.
13. Формула Родрига для классических ортогональных многочленов.
14. Определение наилучшего равномерного приближения и многочлена наилучшего равномерного приближения.
15. Теорема Чебышёва об альтернансе.
16. Многочлены Чебышёва первого рода (5 различных форм записи).
17. Многочлены, наименее уклоняющиеся от нуля. Их определение и связь с алгебраическим интерполированием.
18. Функция Лебега и постоянная Лебега интерполяционного процесса (определения).
19. Построение интерполяционной КФ (ИКФ).
20. Алгебраическая степень точности (АСТ) квадратурной формулы. Двусторонняя оценка для АСТ ИКФ.
21. Формулы Ньютона-Котеса (определение). КФ трапеции. КФ Симпсона. Их алгебраическая степень точности (АСТ).
22. Погрешности КФ трапеции и КФ Симпсона.
23. КФ прямоугольников, представление погрешности, алгебраическая степень точности.
24. КФ типа Гаусса (теорема).

25. Свойства коэффициентов КФ типа Гаусса.
26. Представление остаточного члена КФ гауссова типа.
27. КФ Гаусса (вес, промежуток интегрирования, узлы, коэффициенты, АСТ).
28. КФ Мелера (вес, промежуток интегрирования, узлы, коэффициенты, АСТ).
29. Метод Эйлера численного решения задачи Коши для ОДУ.
30. Метод Рунге-Кутта 4-го порядка численного решения задачи Коши для ОДУ.

Теоретические вопросы по курсу
«Методы вычислений и вычислительный практикум»

Алгебраическое интерполирование. Интерполяционный многочлен в форме Лагранжа.

1. Остаточный член интерполирования. Теорема о представлении погрешности интерполирования.
2. Две задачи о минимизации погрешности интерполирования.
3. Разделенные разности. Разности в случае кратных узлов.
4. Интерполяционный многочлен в форме Ньютона.
5. Конечные разности. Их свойства.
6. Интерполирование по равноотстоящим узлам.
7. Задача обратного интерполирования.
8. Интерполирование Эрмита.
9. Представление остаточного члена в эрмитовом интерполировании.
10. Численное дифференцирование. Теорема о погрешности.
11. Простейшие формулы численного дифференцирования.
12. Неустранимая погрешность формул численного дифференцирования.
13. Тригонометрическое интерполирование. ДПФ, ОДПФ, БПФ.
14. Наилучшее среднеквадратичное приближение.
15. Процесс ортогонализации.
16. Общие свойства ортогональных многочленов.
17. Уравнение Пирсона.
18. Классические веса и классические ортогональные многочлены.
19. Формула Родрига.
20. Наилучшее равномерное приближение. Существование многочлена наилучшего равномерного приближения.
21. Альтернанс. Теорема Чебышёва (б/д). Примеры.
22. Многочлены Чебышёва первого рода (определение, корни, точки экстремума; различные формы записи).
23. Многочлены, наименее уклоняющиеся от нуля. Их связь с алгебраическим интерполированием.
24. Некоторые сведения о сходимости интерполяционных процессов на вещественной оси.
25. Функция Лебега и постоянная Лебега.
26. Сплайны, примеры их построения.
27. Построение интерполяционной КФ (ИКФ).
28. Алгебраическая степень точности КФ, ИКФ.
29. Оценка погрешности КФ. Следствия.
30. Подобные КФ и их свойства.
31. Свойства КФ с постоянным весом, с чётным весом.
32. Простейшие квадратурные формулы (КФ прямоугольников), их погрешности.
33. Формулы Ньютона-Котеса и их частные случаи.
34. Составные КФ, примеры построения.
35. КФ типа Гаусса, определение, теорема о построении.

36. Свойства коэффициентов КФ типа Гаусса.
37. Представление остаточного члена КФ гауссова типа.
38. Сходимость КФ типа Гаусса для непрерывных функций.
39. Многочлены Лежандра и КФ Гаусса.
40. Квадратурная формула Мелера (вес, узлы, коэффициенты, погрешность).
41. Интегрирование периодических функций. Тригонометрическая степень точности.
42. Способы устранения особенностей интегрируемой функции.
43. Построение начала таблицы при решении задачи Коши для ОДУ методом разложения в ряд Тейлора.
44. Простейшие методы решения Задачи Коши для ОДУ.
45. Метод Рунге-Кутта.
46. Экстраполяционный метод Адамса.
47. Интерполяционный метод Адамса.

<u>Примерный вариант ТЕСТА:</u>

Выделите/отметьте номера верных/истинных утверждений (все задания 1-6 оцениваются в 0.5 балла). ВНИМАНИЕ! Выбор может быть не единственным.

1. Узлы интерполирования в задаче алгебраического интерполирования **<u>всегда</u>**:
1) равноотстоящие внутренние точки (a; b)
2) вещественные точки
3) произвольные попарно-различные точки
4) упорядоченные по возрастанию точки (a; b), включая концы
2. Интерполяционный алгебраический многочлен $\mathbf{P_n}$ функции **f** (которая сама не является многочленом) **однозначно определяется:**
1) своей степенью **n** и точкой интерполирования **x**
2) функцией **f**
3) набором узлов интерполирования $\mathbf{x_0, x_1, \ldots, x_n \mid x_k \neq x_m, k \neq m, P_n(x_j)=f(x_j), j=0,\ldots,n}$
4) своей степенью **n** и функцией **f**
3. Задача о минимизации погрешности алгебраического интерполирования $|f(x)-P_n(x)|$ для класса функций $\mathbf{MC^{n+1}[a;b]}$ в точке **x** решается:
1) выбором **n** узлов интерполирования, ближайших к точке **x**
2) выбором **(n+1)** узла интерполирования, наиболее удаленных от точки **x**
3) выбором **(n+1)** узла интерполирования, ближайших к точке **x**
4. Разделенная разность (РР) функции **f** порядка **n** $\mathbf{f(x_0,x_1,\ldots,x_n)}$**:**
1) несимметричная функция своих аргументов
2) является коэффициентом при $\mathbf{x^n}$ интерполяционного многочлена $\mathbf{P_n(x)}$, построенного по узлам $\mathbf{x_0, x_1, \ldots, x_n}$
3) симметричная функция своих аргументов и потому, например, $\mathbf{f(x_0,x_1,\ldots,x_n) = f(x_n,x_{n-1},\ldots,x_0)}$
4) в случае, если все аргументы равны $\mathbf{x_0= x_1= \ldots= x_n}$, **РР порядка n** $\mathbf{f(x_0,x_0,\ldots,x_0)=f^{(n)}(x_0)/n!}$

5. Следующая задача интерполирования Эрмита

k	$\mathbf{x_k}$	$\mathbf{F(x_k)}$	$\mathbf{F'(x_k)}$	$\mathbf{F''(x_k)}$
1	0	**0**		
2	0,1	**0**	**0**	
3	0,2	**-------------**	**0**	**0**
4	0,3	**0**		

имеет единственное решение, так как
1) Любая задача интерполирования Эрмита однозначно разрешима;

2) Это однородная задача Эрмита, а значит имеет только тривиальное решение;
3) Узлы интерполирования равноотстоящие;
4) Утверждение неверно: это не задача интерполирования Эрмита.

6. Представление погрешности центральной разностной производной $\mathbf{f'(a)} - \frac{f(a+h)-f(a-h)}{2h} = -\frac{f'''(\theta)}{6}h^2$ позволяет утверждать, что эта формула численного дифференцирования будет точна:
1) для всех алгебраических многочленов степени не выше 3
2) для всех алгебраических многочленов степени не выше 2
3) формула всегда имеет погрешность, отличную от нуля
4) формула всегда точна

7. (1 балл) Для следующей таблично-заданной функции строят интерполяционный многочлен степени не выше 7. Укажите (отметьте в таблице) узлы, решающие задачу минимизации погрешности алгебраического интерполирования для функции f в точке x=0,15

x_k	-1,0	-0,5	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	2,0
$f(x_k)$	2,0	1,5	1,3	1,0	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,5	-1,0

В этой задаче можно просто отметить узлы, а можно, кроме того, привести поясняющие расчеты.

Проверяемые компетенции: ПКА-1, ПКП-1

Сформированность компетенций считается пропорционально доле успешных ответов на вопросы и доле выполненных заданий.

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

3.2. Кадровое обеспечение

3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Требуется оператор в компьютерный класс.

3.3. Материально-техническое обеспечение

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные стандартным оборудованием, используемым для обучения в СПбГУ в соответствии с требованиями материально-технического обеспечения.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Стандартное оборудование, используемое для обучения в СПбГУ.

MS Windows, MS Office, Mozilla FireFox, Google Chrome, Acrobat Reader DC, WinZip, Антивирус Касперского.

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Требования по усмотрению преподавателя, проводящего занятия по вычислительному практикуму.

3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Требования остаются на усмотрение преподавателя, ведущего лабораторные работы.

3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Бумага формата А4, для подготовки раздаточного материала. 10 листов / на одного обучающегося. Фломастеры для письма на доске, мел.

3.4. Информационное обеспечение

3.4.1 Список обязательной литературы:

1. А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. **Вычислительные методы**, СПб: Лань, **2014**. – 672 с. ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://e.lanbook.com/

2. И.К. Даугавет, **Введение в классическую теорию приближений функций,** СПб: Издательский дом С.-Петербургского гос. университета, **2011**. −230 с.
3. Саад, Юсеф. **Итерационные методы для разряженных линейных систем** (в двух томах). Изд-во Московского университета, 2013, Т. 1.
4. Пакулина А.Н. Практикум по методам вычислений. Часть 1 https://dspace.spbu.ru/handle/11701/15202

3.4.2 Список дополнительной литературы:

1. Хорн Р., Джонсон Ч., **Матричный анализ,** М., **1989**.
2. И. П. Мысовских, **Лекции по методам вычислений**, СПб: Издательство Санкт-Петербургского университета, **1998**. - 472 с.
3. Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков, **Численные методы,** Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, **2003.** - 632 с.
4. Д.К.Фаддеев, В.Н.Фаддеева В.Н., **Вычислительные методы линейной алгебры,** СПб.: Издательство «Лань», **2002.** — 736 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: https://proxy.library.spbu.ru/login?url=https://e.lanbook.com/

5. С.М.Устинов, В.А.Зимницкий, **Вычислительная математика,** СПб: БХВ-Петербург, **2009.** — 336 с.: ил.

3.4.3 Перечень иных информационных источников

- Сайт Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: http://www.library.spbu.ru/

- Электронный каталог Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: http://www.library.spbu.ru/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS

- Перечень электронных ресурсов, находящихся в доступе СПбГУ: http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/

- Перечень ЭБС, на платформах которых представлены российские учебники, находящиеся в доступе СПбГУ: http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource_type=8

Математика: тематическая рубрика http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?subject=1

Раздел 4. Разработчики программы

Лебедева Анастасия Владимировна, кандидат ф.-м.н., доцент Кафедры вычислительной математики. a.v.lebedeva@spbu.ru, 428-42-12

Рябов Виктор Михайлович, д.ф.-м.н., профессор Кафедры вычислительной математики. v.ryabov@spbu.ru, 428-42-12