**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Функциональный анализ

Functional Analysis

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 7

Регистрационный номер рабочей программы: 051645

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Цели и задачи учебных занятий заключаются в обучении обучающихся основным понятиям, результатам и методам функционального анализа, в подготовке обучающихся к восприятию других дисциплин, использующих функциональный анализ, в том числе в подготовке обучающихся к использованию языка и методов функционального анализа при решении задач естествознания, теоретической и прикладной кибернетики, математической физики, экономики и других дисциплин , а также развитие у обучающихся доказательного, логического мышления и их подготовка к самостоятельным научным исследованиям.

Поставленные цели достигаются путём решения следующих задач курса: изучение основных разделов функционального анализа; развитие навыков самостоятельного решения задач и интерпретации полученных результатов; обеспечение базы для усвоения приближенных методов вычислений и соответствующих компьютерных программ; повышение математической культуры обучающегося.

Курс функционального анализа дает студенту язык и комплекс современных универсальных методов, позволяющих изучать свойства широкого спектра математических моделей в естествознании. Дисциплина «Функциональный анализ» является одной из базовых в подготовке к профессиональной деятельности в области математики и информационных технологий и служит основой для изучения других математических дисциплин как теоретического, так и прикладного характера, входящих в программу обучения на факультете, таких как математическая физика, кибернетика, вычислительная математика, методы оптимизации и исследование операций.

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

Для успешного освоения дисциплины обучающийся должен иметь предварительную подготовку по основным математическим дисциплинам – математическому анализу, высшей алгебре, геометрии и дифференциальным уравнениям, включая входящие в их состав основы топологии и теории меры, изучаемым на I и II курсе согласно учебному плану.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

ПКА-1, ПКП-1.

Выпускник должен знать содержание дисциплины «Функциональный анализ» и иметь представление о возможностях применения ее разделов, использовать язык функционального анализа для формулировки и решения задач из смежных математических дисциплин, уметь проверять основные, изучаемые в курсе свойства и находить числовые значения основных параметров для конкретных примеров изучаемых в курсе основных объектов и понятий. При этом необходимо проводить строгие доказательства формулируемых утверждений, полное обоснование выполняемых вычислений, включая обоснования математически сложных алгоритмов применимых в современных специализированных программных комплексах и смежных математических дисциплинах, в том числе дифференциальных уравнениях и математической физике, дискретной математике, теоретической и прикладной кибернетике, механике и других областях науки и техники.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Аудиторная учебная работа: лекции в объеме 3 часа в неделю и практические занятия 1 час в неделю в 5-м и 2 часа в неделю в 6-м учебных семестрах. Консультации, экзамен в 5 и 6 семестре.

Самостоятельная работа с использованием методических материалов: индивидуальная работа с рекомендованной основной и дополнительной литературой по теории дифференциальных уравнений.

**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 | 45 |  | 2 | 15 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 20 |  | 24 |  | 20 | 3 |
|  | 2-100 |  | 2-100 | 10-25 |  |  |  |  | 2-100 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| Семестр 6 | 45 |  | 2 | 30 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 31 |  | 34 |  | 20 | 4 |
|  | 2-100 |  | 2-100 | 10-25 |  |  |  |  | 2-100 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 90 |  | 4 | 45 |  |  |  |  | 4 |  |  |  | 51 |  | 58 |  |  | 7 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |
| Семестр 6 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

**5 семестр**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Кол-во часов |
| 1 | Метрические, нормированные и гильбертовы пространства | лекции | 15 |
| практические занятия | 5 |
| сам. раб. по методическим материалам | 6 |
| 2 | Линейные операторы в нормированном пространстве. | лекции | 15 |
| практические занятия | 5 |
| сам. раб. по методическим материалам | 6 |
| 3 | Линейные функционалы. Теорема Хана-Банаха. Сопряженное пространство. | лекции | 15 |
| практические занятия | 5 |
| сам. раб. по методическим материалам | 8 |
|  | Промежуточная аттестация | консультация | 2 |
| самостоятельная работа | 24 |
| экзамен | 2 |
| Итого в семестре | | | 108 |

**6 семестр**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Кол-во часов |
| 4 | Спектральная теория компактных операторов. | лекции | 15 |
| практические занятия | 10 |
| по методическим материалам | 10 |
| 5 | З. Спектральная теорема для самосопряженных операторов | лекции | 15 |
| практические занятия | 10 |
| по методическим материалам | 10 |
| 6 | Элементы нелинейного функционального анализа | лекции | 15 |
| практические занятия | 10 |
| по методическим материалам | 11 |
|  | Промежуточная аттестация | консультация | 222 |
| самостоятельная работа | 3344 |
| экзамен | 2 |
| Итого в семестре | | | 144 |
| Всего | | | 252 |

***Содержание учебных занятий:***

Модуль 1. Метрические, нормированные и гильбертовы пространства.

Метрические и нормированные пространства: определение, примеры. Сходящиеся и фундаментальные последовательности в метрическом пространстве, полнота. Сепарабельные пространства. Лемма о вложенных шарах и теорема Бэра о категориях. Изоморфизм конечномерных пространств. Теорема Ф.Рисса о характеристике конечномерных пространств. Теорема Хаусдорфа о предкомпактных множествах. Теорема Арцела - Асколи. Неравенства, Гельдера и Минковского.. Пространства  и .Регулярные меры. Плотность непрерывных функций. Теорема Стоуна—Вейерштрасса, вещественный и комплексный варианты. Следствия о плотности полиномов и тригонометрических полиномов.

Гильбертово пространство, простейшие свойства (неравенство Коши, тождество параллелограмма). Ортогональность, ее свойства. Полные ортогональные системы, примеры (тригонометрическая система, полиномы Лежандра, функции Радемахера и Уолша). Теорема об ортогональной проекции.

Ортогонализация линейно независимой системы. Ортогональные ряды. Ряд Фурье. Неравенство Бесселя, равенство Парсеваля. Теорема Рисса-Фишера. Изоморфность сепарабельных гильбертовых пространств.

Модуль 2. Линейные операторы в нормированном пространстве.

Линейные операторы. Ограниченные линейные операторы. Непрерывность и ограниченность. Норма линейного оператора, ее вычисление. Полнота пространства операторов. Продолжение линейного оператора со всюду плотного множества. Обратный оператор к $I-U$, где $U$ - сжатие. Открытость множества обратимых операторов. Теорема Банаха, следствие об эквивалентных нормах. Теорема о замкнутом графике. Принцип равномерной ограниченности. Поточечная сходимость линейных операторов. Теорема Банаха-Штейнгауза, ее приложения (приложения к анализу Фурье, теорема Теплица). Теорема Рисса об общем виде линейного функционала в гильбертовом пространстве. Сопряженный оператор в гильбертовом пространстве. Унитарные и самосопряженные операторы в гильбертовом пространстве, проекторы

Модуль 3. Линейные функционалы и операторы. Теорема Хана-Банаха. Сопряженное пространство.

Линейные функционалы и гиперподпространства. Выпуклые функционалы. Вещественная теорема Хана-Банаха. Комплексный вариант теоремы Хана-Банаха. Функционал Минковского, характеризация выпуклых положительно-однородных функционалов. Теоремы отделимости. Теорема Крейна-Мильмана.

Интегральные функционалы в пространстве. Заряды, разложение Хана. Функционалы в пространстве, вычисление нормы. Интегральные операторы в пространствах непрерывных функций, вычисление нормы. Интегральные операторы в , тест Шура, ограниченность оператора Гильберта. Оператор свертки с суммируемой функцией. Теорема о свертке с аппроксимативной единицей. Оценка нормы ядра Дирихле. Расходимость ряда Фурье для непрерывной функции.

Суммирование по Чезаро рядов Фурье. Теорема Фейера. Преобразование Фурье в , формула обращения. Преобразование Фурье в теорема Планшереля. Теоремы о продолжении линейного функционала в нормированном пространстве. Следствие о достаточном числе линейных функционалов, теорема о геометрическом смысле нормы функционала.

Вложение нормированного пространства во второе сопряженное. Рефлексивность. Слабая и сходимость. Слабая ограниченность и ограниченность. Теорема Мазура. Теорема Банаха-Алаоглу. Теорема Крейна-Мильмана. Сопряженный оператор, его свойства. Теорема Радона--Никодима. Общий вид линейного функционала в .Пространство зарядов, общий вид линейного функционала в пространстве непрерывных функций.

Модуль 4. Спектральная теория компактных операторов.

Спектр и резольвента. Теорема о спектральном радиусе. Теорема о непустоте спектра. Примеры вычисления спектра. Теорема об отображении спектра. Спектр унитарного и самосопряженного оператора. Компактные операторы и их простейшие свойства (замкнутость по норме, операторы конечного ранга, компактность композиции). Критерий компактности оператора в гильбертовом пространстве. Интегральные операторы с вырожденными ядрами. Компактность оператора с непрерывным ядром. Компактность интегрального оператора Гильберта-Шмидта. Собственные числа компактного оператора. Теорема Гильберта--Шмидта. Альтернатива Фредгольма. Следствие о спектре компактного оператора. Решение уравнений с операторами Фредгольма.

Модуль 5. Спектральная теорема для самосопряженных операторов.

Теорема о норме оператора p(А) для самосопряженного оператора A. Непрерывное функциональное исчисление для самосопряженного оператора. Свойства положительных операторов. Существование квадратного корня. Сходимость монотонной последовательности положительных операторов. Построение спектральных проекторов, представление самосопряженного оператора и функций от него в виде интеграла по проекторнозначной мере. Спектральная теорема для циклического самосопряженного оператора. Спектральная теорема для самосопряженного оператора в сепарабельном пространстве - общий случай (представление в виде прямой суммы).

Модуль 6. Элементы нелинейного функционального анализа.

Производная Фреше, неравенство Лагранжа. Локальная теорема о неявной функции. Теорема о сходимости метода последовательных приближений. Теорема о сходимости метода Ньютона- Канторовича. Теорема Шаудера о неподвижной точке. Нормальные и регулярные конусы. Теорема о неподвижной точке для монотонных операторов.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Обучающиеся должны посещать лекций, практические занятия, выполнять задания преподавателей. Обучающемуся необходимо знать содержание лекций, уметь формулировать определения основных понятий и утверждений, уметь применять методы и доказательства теорем при решении конкретных задач по программе практических занятий.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При самостоятельном выполнении домашних, индивидуальных заданий, целесообразно использовать рекомендованные учебники и задачники, а также дополнительную литературу.

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

В течение учебного года по дисциплине проводятся практические занятия и консультации, задаются задачи и упражнения для самостоятельной работы, проводится экзамен. В процессе обучения каждый студент снабжается набором задач, которые необходимо уметь решать для положительной оценки по аттестации.

***Методика проведения экзамена***

Экзамен проводится в устной форме. Билет состоит из двух вопросов и дополнительного типового практического задания . Время подготовки ответа на вопросы билета составляет 60 минут.

Использование конспектов и учебников, а также электронных устройств хранения, обработки или передачи информации при подготовке и ответе на вопросы экзамена не разрешается. В случае обнаружения факта использования недозволенных материалов (устройств) составляется акт, и студент удаляется с экзамена.

После ответа на вопросы билета преподаватель задает несколько дополнительных вопросов, на основании оценки ответов на которые итоговая оценка по предмету может быть повышена или понижена.

*Критерии выставления оценок:*

Оценка «отлично» ставится за полностью раскрытый теоретический материал и правильные, доказательные ответы на дополнительные вопросы и задачи преподавателя.

Оценка «хорошо» ставится за изложенный теоретический материал билета (возможно с помощью наводящих подсказок преподавателя) и правильные ответы на дополнительные вопросы преподавателя, при условии решения типовой контрольной задачи.

Оценка «удовлетворительно» ставится за основных понятий, примеров и знание ответов на основные вопросы по каждой теме, при условии решения типовой контрольной задачи.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполняются условия для получения оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно».

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

*Примерный перечень вопросов к экзамену*

*5 семестр*

1. Метрические пространства (МП)-база топологии, замыкание, внутренность, граница. Примеры.
2. Нормальность МП.
3. Полные МП, пополнение МП.
4. Теорема о вложенных шарах в полном МП.
5. Теорема Бэра о категориях.
6. Теорема Банаха о сжимающем отображении.
7. Нормированные пространства (НП) - непрерывность алгебраических операций, примеры, в том числе , ,
8. Теорема о вложенных шарах в В-пространствах.
9. Конечномерные НП, теорема Рисса об эквивалентности норм.
10. Замкнутость в НП конечномерных линейных множеств.
11. Лемма Рисса о почти перпендикуляре.
12. Сепарабельные НП, примеры .
13. Наилучшее приближение как полунорма.
14. Существование элемента наилучшего приближения.
15. Нормальность хаусдорфовых компактов.
16. Компактность и центрированные системы.
17. Линделефовость сепарабельных МП.
18. Тождественность компактности и секвенциальной компактности в МП.
19. Критерий компактности Хаусдорфа в МП.
20. Компактность в конечномерных пространствах.
21. Компактность в
22. Критерий компактности Рисса в
23. Теорема Арцела-Асколи.
24. Теорема Рисса о компактности шара.
25. Теорема Урысона об отделении замкнутых множеств в нормальном пространстве (доказательство для МП).
26. Теорема Урысона о продолжении по непрерывности с замкнутого множества в нормальном пространстве.
27. Теорема Стоуна-Вейерштрасса (вещ. случай).
28. Теорема Стоуна-Вейерштрасса (компл. случай).
29. Полнота пространств и плотные множества в них.
30. Гильбертово пространство-неравенство Шварца, равенство параллелограмма, ортогонализация линейно независимых систем.
31. Критерий сходимости ортогональных рядов в .
32. Теорема о наилучшем приближении точками замкнутого, выпуклого множества в .
33. Разложение гильбертова пространства в прямую сумму попарно ортогональных подпространств.
34. Ортонормированные системы (ОНС)- экстремальное свойство сумм ряда Фурье, неравенство Бесселя.
35. ОНС- замкнутость и полнота.
36. Разложение в ряд Фурье по полной ОНС.
37. Равенство Парсеваля.
38. Полнота тригонометрической системы в 
39. Линейные операторы в НП: непрерывность и ограниченность.
40. Норма линейного оператора.
41. Полнота пространства L(X,Y), где Y-B-пространство.
42. Продолжение линейного оператора по непрерывности.
43. Условие непрерывной обратимости оператора I-C.
44. Открытость множества непрерывно обратимых операторов в L(X,Y).
45. Теорема Банаха о гомеоморфизме.
46. Теорема о замкнутом графике.
47. Полнота фактор-пространства банахова пространства.
48. Каноническое вложение НП в фактор-пространство.
49. Ассоциированный оператор и теорема об открытом отображении.
50. Теорема Банаха-Штейнгауза.
51. Линейные функционалы: непрерывность и замкнутость ядра.
52. Гиперплоскости и линейные функционалы.
53. Лемма Цорна.
54. Теорема Хана-Банаха (веществ. случай).
55. Теорема Хана-Банаха (компл. случай).
56. Продолжение функционала по непрерывности с линейного множества.
57. Сопряженный оператор А\* и его норма.
58. Теорема об ортогональном дополнении ker(A\*).
59. Теорема об ортогональном дополнении ker(A).
60. Априорная оценка решения операторного уравнения и замкнутость R(A).
61. Функционал Минковского как полунорма.
62. Критерий Колмогорова нормируемости топологического векторного пространства (ТВП).
63. Теорема об отделимости выпуклых множеств.
64. Вложение X в X\*\*.
65. Слабое и сильное замыкания выпуклых множеств.
66. Теорема Рисса об общем виде линейных функционалов в Н.
67. Интегральные операторы в L2, тест Шура.
68. Аппроксимативная единица и ее свойства.

*6 семестр.*

1. Определение спектра и резольвенты, замкнутость спектра.
2. Спектральный радиус и его вычисление.
3. Оценка протяженности спектра через спектральный радиус.
4. Тождество Гильберта, аналитичность резольвенты.
5. Непустота спектра ограниченного линейного оператора.
6. Теорема об отображении спектра полиномом.
7. Элементарные свойства линейных компактных (вполне непрерывных) операторов (произведение ограниченного и компактного операторов, равномерный предел последовательности компактных операторов).
8. Компактность оператора, сопряженного с компактным оператором.
9. Базис Шаудера, координатное пространство.
10. Почти конечномерность компактного оператора в пространстве с базисом Шаудера.
11. Размерность Ker(I-A), где А- компактный оператор.
12. Замкнутость R(I-A), где А- компактный оператор.
13. Существование n такого, что Ker(I-A)\*n=Ker(I-A)\*(n+1), где А- компактный оператор.
14. Критерий равенства R(I-A)=X, где А- компактный оператор.
15. Альтернатива Фредгольма.
16. Теорема о спектре компактного оператора.
17. Вещественность спектра самосопряженного оператора.
18. Критерий включения в резольвенту самосопряженного оператора.
19. Критерий включения в спектр самосопряженного оператора.
20. Оценка протяженности спектра самосопряженного оператора через его границы m и M.
21. Теорема о спектральном радиусе самосопряженного оператора.
22. Теорема Гильберта-Шмидта о базисе из собственных векторов компактного самосопряженного оператора.
23. Следствие теоремы Гильберта-Шмидта о разложении компактного самосопряженного оператора и его резольвенты.
24. Теорема о положительности произведения положительных самосопряженных операторов.
25. Существование сильного предела у монотонной, ограниченной последовательности самосопряженных операторов.
26. Существование квадратного корня для самосопряженного оператора.
27. Проекторы в гильбертовом пространстве.
28. Критерий разложения проектора в сумму проекторов.
29. Критерий положительности разности двух проекторов.
30. Положительность p(L), где р-положительный полином на [m,M].
31. Определение и существование f(L) для непрерывной на [m,M] функции f.
32. Свойства соответствия f🡪f(L) (сохранение знака, нормы и арифметика).
33. Определение и существование f(L) для полунепрерывной сверху функции f.
34. Определение спектральной функции самосопряженного оператора и ее основные свойства(сильная непрерывность справа, коммутирование , монотонность).
35. Разложение самосопряженного оператора посредством спектральной функции.
36. Теорема о спектральном исчислении.
37. Теорема об отображении спектра.
38. Поведение спектральной функции в окрестности точки резольвенты.
39. Поведение спектральной функции в окрестности точки спектра.
40. Производная Фреше, неравенство Лагранжа.
41. Локальная теорема о неявном отображении.
42. Теорема о локальной сходимости метода последовательных приближений.
43. Теорема о локальной сходимости метода Ньютона-Канторовича.
44. Лемма о выпуклой оболочке компакта.
45. Равномерный предел последовательности непрерывных, компактных операторов.
46. Проекторы Шаудера.
47. Теорема Шаудера о неподвижной точке.
48. Нормальные и регулярные конусы, примеры.
49. Порядковые интервалы, монотонные операторы.
50. Теорема о неподвижной точке для монотонных операторов

*Примерный список типовых контрольных заданий:*

1. Проверить неравенство треугольника и исследовать полноту указанной полунормы на заданном линейном пространстве.
2. Исследовать свойства указанного множества (в том числе замкнутость, компактность, категорию и др.) в указанном функциональном нормированном пространстве или пространстве последовательностей.
3. Доказать ограниченность и найти норму заданного линейного функционала на заданном пространстве.
4. Найти расстояние от данного элемента гильбертова пространства до указанного его подмножества (подпространства).
5. Исследовать на сходимость (сильную, слабую,\*-слабую и другие) заданную последовательность элементов в указанном пространстве
6. Исследовать предложенный линейный оператор на ограниченность, компактность, обратимость, найти его спектр...
7. Проверить положительность заданного оператора, найти его квадратный корень..
8. Исследовать данный нелинейный функционал на дифференцируемость по Фреше и Гато.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Оценка обучающимися содержания и качества учебного процесса по дисциплине осуществляется в установленном в СПбГУ порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

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

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень доктора или кандидата наук (в том числе степень PhD, прошедшую установленную процедуру признания и установления эквивалентности) и/или ученое звание профессора или доцента.

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

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Специальных требований нет.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Требуются стандартно оборудованные лекционные аудитории.

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

При проведении отдельных занятий возможно использование студентами компьютерных математических пакетов для выполнения практических заданий.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Не предусмотрены.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Не предусмотрены.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Мел, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски в объеме, необходимом для проведения занятий, по заявкам преподавателей.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. - М., 2004.

2. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. - М., 1975. ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru:2290/book/2206#book_name>.

3. Треногин В.А. Функциональный анализ. - М, 1980-2007. + ЭБС «Лань» по подписке СПбГУ: <https://proxy.library.spbu.ru:2290/book/2340#book_name>

4. Кириллов А.А., Гвишиани А.Д. Теоремы и задачи функционального анализа. - М., 1988.

5. Бахарев Ф.Л. Основы функционального анализа. – СПб, 2012.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. Рисс Ф., Секефальви-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. М., 1979.

2. Рудин У. Функциональный анализ. М.,1975.

3. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Элементы функционального анализа. М., 1965.

4. Рид М., Саймон Б. Современные методы математической физики. Т. I. М., 1977.

5. Кутателадзе С.С. Основы функционального анализа. Новосибирск, 2001.

6. Кадец В.М. Курс функционального анализа. Харьков, 2004.

7. Хелемский. А.Я., Лекции по функциональному анализу, М., 2004

8. В.Хатсон. Дж.Пим Приложение функционального анализа и теории операторов. М. Мир.1983.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1.

[http://djvuru.512.com1.ru/2a355dbbb620c5621c973ec7d7e3db21.pdf.](http://djvuru.512.com1.ru/2a355dbbb620c5621c973ec7d7e3db21.pdf. 2)

[2](http://djvuru.512.com1.ru/2a355dbbb620c5621c973ec7d7e3db21.pdf. 2). http://math.spbu.ru/analysis/lectinfo.html.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Виноградов Олег Леонидович, доктор ф-м. наук, профессор кафедры математического анализа, [olvin@math.spbu.ru](mailto:olvin@math.spbu.ru).

Баранов Антон Дмитриевич, доктор ф.-м. наук, профессор кафедры математического анализа, [anton.d.baranov@gmail.com](mailto:anton.d.baranov@gmail.com).

Додонов Николай Юрьевич, кандидат ф-м. наук, доцент кафедры математического анализа, [dodonov140202@gmail.com](mailto:dodonov140202@gmail.com).

Флоринский Александр Алексеевич, кандидат физ-мат.наук, доцент кафедры математического анализа [florinskiy.a@gmail.com](mailto:florinskiy.a@gmail.com). Тел 428-42-11.