

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Утверждена

Ученым советом ФИЦ ИПМ

им. М.В. Келдыша РАН,

протокол № __ от «__» _____ 2018_

г.

Заместитель директора

_____ А.Л. Афендигов

(подпись, расшифровка подписи)

«__» _____ 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Элементы теории функций и функционального анализа

Направление подготовки

Профили (направленности программы)

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Квалификация выпускника

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Москва, 2018

Направление подготовки: 01.09.01 — Информатика и Вычислительная техника

Профиль (направленность программы): 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Дисциплина: Элементы теории функций и функционального анализа.

Форма обучения: очная

Рабочая программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. N 33685, и Программы-минимум кандидатского экзамена по специальности, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 года № 274 (зарегистрировано Минюстом Российской Федерации 19 октября 2007 года № 10363).

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА

Ученым советом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, протокол № ___ от «___» _____ 2018 г.

ИСПОЛНИТЕЛЬ (разработчик программ):

Афендигов А.Л., заместитель директора ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Веденяпин В.В., ведущий научный сотрудник ИПМ им. М.В.Келдыша РАН,

Дудникова Т.В., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.

Заведующий аспирантурой _____ / Меньшов И.С. /

Оглавление

АННОТАЦИЯ	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
3.1. Структура дисциплины.....	5
3.2. Содержание разделов дисциплины	6
3.3. Семинарские занятия	7
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ	8
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	12

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Элементы теории функций и функционального анализа» реализуется в рамках Блока 1 Основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального исследовательского центра Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) по направлению подготовки 01.09.01 — Информатика и Вычислительная техника».

Рабочая программа разработана с учетом требований ФГОС ВО по направлению подготовки 01.09.01 — Информатика и Вычислительная техника», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. N 33685, и Программы-минимум кандидатского экзамена по специальности, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 года № 274 (зарегистрировано Минюстом Российской Федерации 19 октября 2007 года № 10363).

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: материалы конференций, симпозиумов, семинаров, Интернет-ресурсы, научные издания и монографические исследования и публикации.

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет 2 зач.ед. (72 часа), из них лекций – 4 часа, семинарских занятий – 10 часов, практических занятий – 0 часов и самостоятельной работы – 58 часа. Дисциплина реализуется на 1-м курсе, в 1-м семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренные настоящей программой.

Промежуточная оценка знания осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме зачета.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи дисциплины «Элементы теории функций и функционального анализа»

Цель: освоение фундаментальных знаний и компетенций, которые позволят представлять и разрабатывать методами дифференциальных уравнений модели физико-химических процессов и их дискретные модели в удобном виде, а также владеть математическим аппаратом, позволяющим выбрать наиболее правильную модель, аналитически исследовать и оценивать её свойства.

Задачи:

- освоить основы математического и функционального анализа;
- практическое освоение накопленных по дисциплине знаний при использовании математического и функционального анализа;
- стимулирование к самостоятельной деятельности по освоению дисциплины.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Функциональный анализ» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 — Информатика и Вычислительная техника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. N 33685

а) универсальные (УК): не предусмотрено

б) общепрофессиональных (ОПК): Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1)

в) профессиональных (ПК): Способность использовать математический и функциональный анализ в исследованиях(ПК-1),

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия функционального анализа
- основные методы использования математического и функционального анализа.
- основные математические методы качественного исследования модели химических и физических процессов с помощью математического и функционального анализа.

Уметь:

- использовать основные понятия математического и функционального анализа
- уверенно проводить качественную оценку поведения химических и физических процессов с помощью математического и функционального анализа.

Владеть:

- навыками функционального анализа
- основными понятиями математического и функционального анализа.
- навыками исследования основных свойств моделей физико-химической теории с помощью математического и функционального анализа.

Приобрести опыт:

- построения моделей физико-химических процессов с помощью математического и функционального анализа;
- исследования поведения физико-химических процессов с помощью функционального анализа

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Структура дисциплины

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	общая	
	зач.ед.	час.
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ по Учебному плану	2	72
Лекции (Л)		4
Практические занятия (ПЗ)	-	-
Семинары (С)		10
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины		58
Вид контроля: зачет		

3.2. Содержание разделов дисциплины

Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущей аттестации
1.	Метрические и топологические пространства	<p>Определение метрического пространства. Замкнутые и открытые множества. Сепарабельное метрическое пространство. Полные пространства. Теорема о вложенных замкнутых шарах. Теорема Бэра. Пополнение метрических пространств. Компактные множества в метрических пространствах. Критерий компактности Хаусдорфа. Критерий компактности в некоторых метрических пространствах. Теорема существования минимума функционала на бикompактном множестве. Принцип сжимающих отображений и его применения. Определение топологического пространства.</p>	О, ДЗ
2.	Нормированные линейные пространства	<p>Линейные пространства. Линейная зависимость, подпространство, базис. Нормированные, банаховы пространства. Примеры. Евклидовы, гильбертовы пространства. Примеры. Ортогональность. Процесс ортогонализации. Теорема о разложении гильбертова пространства в сумму ортогональных подпространств. Неравенство Бесселя. Замкнутость в смысле Стеклова. Равенство Парсевалея-Стеклова. Теорема Рисса-Фишера об изоморфизме гильбертовых пространств. Задача о наилучшем приближении элемента фиксированным аппроксимирующим множеством (в нормированном, гильбертовом пространстве).</p>	О, ДЗ
3.	Линейные операторы	<p>Определение линейного оператора. Обратный оператор. Теорема Банаха об обратном операторе. Теорема Банаха о замкнутом графике. Проекторы. Принцип равномерной ограниченности. Теорема Банаха–Штейнгауза для операторов. Ее применение.</p>	О, ДЗ
4.	Линейные функционалы	<p>Линейный функционал на линейном пространстве. Выпуклые множества и выпуклые функционалы. (Общая) теорема Хана-Банаха о продолжении линейного функционала, определенного на линейном пространстве. Линейные функционалы в нормированном пространстве. Примеры. Сопряженное пространство. Теорема Банаха – Штейнгауза для линейных функционалов. Ее применение. Теорема Рисса об общем виде линейных функционалов в гильбертовом пространстве. Теорема Хана-Банаха о продолжении линейного функционала.</p>	О, ДЗ
5.	Резольвента оператора	<p>Спектр и спектральный радиус оператора. Резольвента оператора. Определение сопряженного оператора. Самосопряженный оператор. Его спектр. Проекционные операторы. Спектральное разложение самосопряженного оператора.</p>	О, ДЗ

6.	Компактные операторы в гильбертовом пространстве	Определение компактного оператора. Его свойства. Теорема Гильберта-Шмидта об общем виде компактного самосопряженного оператора в гильбертовом пространстве. Теорема Фредгольма.	О, ДЗ
7.	Квадратичные функционалы	Билинейная форма. Вариационные методы минимизации квадратичных функционалов. Вариационные уравнения. Теорема Вишика-Лакса-Мильграма.	О, ДЗ
8.	Дифференцирование в линейных пространствах	Дифференциал Фреше и Гато. Теорема о неявной функции и ее применения. Метод Ньютона.	О, ДЗ

Примечание: О – опрос, Д – дискуссия (диспут, круглый стол, мозговой штурм, ролевая игра), ДЗ – домашнее задание (эссе и пр.). Формы контроля не являются жесткими и могут быть заменены преподавателем на другую форму контроля в зависимости от контингента обучающихся. Кроме того, на занятиях семинарских может проводиться работа с нормативными документами, изданиями средств информации и прочее, что также оценивается преподавателем.

3.3. Лекционные занятия

№ занятия	№ раздела	Краткое содержание темы занятия	Кол-во часов
1.	1,2,3,4	Метрическое пространство. Теорема о вложенных шарах. Теорема Бэра. Компактные множества в метрических пространствах. Линейные пространства (нормированные, банаховы, евклидовы и гильбертовы). Теорема о разложении гильбертова пространства в сумму ортогональных подпространств. Неравенство Бесселя. Замкнутость в смысле Стеклова. Равенство Парсевала-Стеклова. Теорема Рисса-Фишера об изоморфизме гильбертовых пространств. Теорема Банаха об обратном операторе. Теорема Банаха о замкнутом графике. Принцип равномерной ограниченности. Теорема Банаха-Штейнгауза. Теорема Рисса об общем виде линейных функционалов в гильбертовом пространстве. Теорема Хана-Банаха о продолжении линейного функционала.	2
2.	5,6,7,8	Спектр и спектральный радиус оператора. Резольвента оператора. Компактные операторы в гильбертовом пространстве. Теорема Фредгольма. Вариационные методы минимизации квадратичных функционалов. Теорема Вишика-Лакса-Мильграма. Дифференциал Фреше и Гато. Теорема о неявной функции и ее применения. Метод Ньютона.	2
ВСЕГО			4

3.4. Семинарские занятия

№ занятия	№ раздела (темы)	Краткое содержание темы занятия	Кол-во часов
3.	1,2	Примеры сепарабельных пространств, полных метрических пространств. Примеры компактных и некомпактных множеств в метрических пространствах. Примеры применения принципа сжимающих отображений. Примеры банаховых и гильбертовых пространств. Задача о наилучшем приближении элемента фиксированным аппроксимирующим множеством (в нормированном или гильбертовом пространстве).	2
4.	3,4	Задачи по темам: линейные операторы и линейные функционалы; теорема Банаха об обратном операторе, теорема Банаха о замкнутом графике. Применение теоремы Банаха-Штейнгауза. Применение теоремы Рисса об общем виде линейных функционалов в гильбертовом пространстве и теоремы Хана-Банаха о продолжении линейного функционала.	2

5.	5,6	Задачи по темам: спектр и спектральный радиус оператора; резольвента оператора; сопряженный оператор; самосопряженный оператор; компактного оператор; теорема Фредгольма.	3
6.	7,8	Задачи по темам: вариационные методы минимизации квадратичных функционалов; дифференциал Фреше и Гато. Теорема о неявной функции и ее применения. Метод Ньютона.	36
ВСЕГО			10

4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Текущая аттестация аспирантов. Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины см. ниже.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5-отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2-не удовлетворительно).

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Форма контроля знаний	Вид аттестации	Примечание
проверочные работы в течение всего курса	текущая	Ниже приведены перечени рекомендуемых задач и контрольных вопросов
зачет	итоговая	

Примерный перечень рекомендуемых контрольных вопросов для оценки текущего уровня успеваемости студента:

1. Привести примеры сепарабельных пространств.
2. Привести примеры полных пространств. Доказать полноту пространства l_p .
3. Доказать теорему о “вложенных замкнутых шарах”.
4. Теорема Бэра.
5. Привести примеры компактных множеств.
6. Компактны ли пространства $C[a,b]$, l_p , i^n ?
7. Доказать критерий Хаусдорфа компактности множества в метрическом пространстве.

8. Критерий компактности множества в $C[a, b]$.
9. Критерий компактности множества в l_p .
10. Применение принципа сжимающих отображений к доказательству существования и единственности решений дифференциальных уравнений.
11. Применение принципа сжимающих отображений к интегральным уравнениям.
12. Привести примеры банаховых, гильбертовых пространств.
13. Доказать обобщенную теорему Пифагора.
14. Теорема о разложении гильбертова пространства в сумму ортогональных подпространств.
15. Доказать, что гильбертово пространство сепарабельно тогда и только тогда, когда в нём существует счётный ортонормированный базис.
16. Доказать минимальное свойство коэффициентов Фурье. Неравенство Бесселя.
17. Критерий замкнутости в смысле Стеклова ортонормированной системы.
18. Теорема Рисса-Фишера об изоморфизме сепарабельных гильбертовых пространств.
19. Существование элемента наилучшего приближения в нормированном пространстве.
20. Существование и единственность элемента наилучшего приближения в гильбертовом пространстве.
21. Доказать, что пространство линейных непрерывных операторов, определенных всюду в банаховом пространстве и со значениями в банаховом пространстве, является банаховым пространством (в смысле равномерной сходимости и в смысле сильной сходимости).
22. Теорема Банаха об обратном операторе.
23. Теорема Банаха о замкнутом графике.
24. Принцип равномерной ограниченности.
25. Теорема Банаха-Штейнгауза.
26. Применение теоремы Банаха-Штейнгауза для оценки метода интерполирования по Лагранжу в пространстве $C[a, b]$.
27. Доказать устойчивость обратимости оператора при малых возмущениях.
28. Доказать теорему Банаха: пусть A - ограниченный линейный оператор ($A \in L(E, E_1)$), A отображает банахово пространство E на все банахово пространство E_1 . Тогда существует $\delta > 0$, такое, что если $B \in L(E, E_1)$ и $\|A - B\| < \delta$, то B отображает E на все пространство E_1 .
29. Доказать, что $(H)^* = H$ для гильбертова пространства H .
30. Доказать, что $(l_p)^* = l_q$, $p > 1$, $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$.
31. Применение теоремы Банаха-Штейнгауза для приближенного вычисления интеграла.
32. Применение теоремы Хана-Банаха о продолжении линейного функционала в нормированном пространстве.
33. Доказать, что спектр линейного ограниченного оператора – замкнутое множество.
34. Доказать лемму об аннуляторе ядра оператора, т.е. если A отображает банахово пространство E на все банахово пространство E_1 , то $(\ker A)^\perp = \text{Im } A^*$.
35. Компактный оператор. Его свойства. Расщепление компактного оператора. Свойства собственных значений компактного оператора.
36. Доказать, что единичный оператор в бесконечномерном банаховом пространстве не компактен.
37. Теорема Гильберта-Шмидта о компактном самосопряженном операторе.
38. Альтернатива Фредгольма.
39. Билинейная форма. Теорема Вишика-Лакса-Мильграма.
40. Применение теоремы о неявной функции.

Примерный перечень рекомендуемых контрольных задач для оценки текущего уровня успеваемости студента:

1. Доказать сепарабельность пространств l_n , l_p , $C[a, b]$.
2. Является ли пространство $m = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n, \dots) : \rho(x, y) = \sup_n |x_n - y_n| < \infty \right\}$ сепарабельным?
3. Полно ли пространство непрерывных функций $C[a, b]$ с квадратичной метрикой, т.е. с метрикой $\rho(x, y) = \left(\int_a^b |x(t) - y(t)|^2 dt \right)^{1/2}$, $x, y \in C[a, b]$?
4. Является ли единичный шар в $C[a, b]$ компактным множеством?
5. Доказать, что множество $\left\{ x \in l_2 : |x_1| < 1, |x_2| < \frac{1}{2}, \dots, |x_n| < \frac{1}{2^{n-1}}, \dots \right\}$ вполне ограничено.
6. Привести пример функционала $f(x)$, заданного на некомпактном в себе множестве M , таком, что $\sup_M f(x)$ не достигается.
7. Доказать, что если замыкание единичного шара банахового пространства H является компактным множеством, то пространство H – конечномерно.
8. Является ли пространство $C[a, b]$ с чебышевской метрикой гильбертовым?
9. Привести примеры полных ортогональных систем.
10. Обладает ли пространство $m = \left\{ x = (x_1, \dots, x_n, \dots) : \|x\| = \sup_n |x_n| < \infty \right\}$ счетным базисом?
11. Является ли пространство $C[a, b]$ строго нормированным пространством?
12. Доказать, что гильбертово пространство является строго нормированным.
13. Является ли оператор $Af = \frac{d}{dx}(f(x))$, $f \in C[0, 1]$, ограниченным?
14. Вычислить норму функционала $f(x) = \int_0^1 x(t) dt$, $x \in L_2[0, 1]$.
15. Вычислить норму функционала $f(x) = \int_a^b a(t)x(t) dt$, $x \in C[a, b]$.
16. Найти пространство, сопряженное к пространству $m = \left\{ x = (x_1, \dots, x_n, \dots) : \|x\| = \sup_n |x_n| < \infty \right\}$.
17. Найти пространство, сопряженное к пространству $C[a, b]$.
18. Доказать, что $\|A^*\| = \|A\|$.
19. Доказать, что если P - проектор в банаховом пространстве B , то $B = \text{Im } P \oplus \text{ker } P$.
20. Найти спектр оператора $A : (x_1, x_2, \dots) \rightarrow (0, x_1, x_2, \dots)$, $x \in l_2$.
21. Доказать, что любой ограниченный линейный оператор, определенный в комплексном банаховом пространстве, имеющем хотя бы один отличный от нуля элемент, имеет непустой спектр.
22. Привести пример неограниченного оператора, имеющего пустой спектр.
23. Вычислить спектр оператора $Af(x) = x f(x)$, $f \in L_2[0, 1]$.
24. Проверить, что оператор $A : (x_1, x_2, \dots) \rightarrow \left(0, x_1, \frac{x_2}{2}, \dots, \frac{x_{n-1}}{n-1}, \dots \right)$, $x \in l_2$, является компактным, но не имеет ни одного собственного вектора (сравнить с теоремой Гильберта-Шмидта). Найти его спектр.

Итоговая аттестация аспирантов. Итоговая аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Итоговая аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачета в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителю директора по научной работе). Обучающийся допускается к зачету в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на зачете – зачет, незачет.

Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме экзамена

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
Незачет	основное содержание учебного материала не раскрыто; допущены грубые ошибки в определении понятий и при использовании терминологии; не даны ответы на дополнительные вопросы.
Зачет	раскрыто содержание материала, даны корректные определения понятий; допускаются незначительные нарушения последовательности изложения; допускаются небольшие неточности при использовании терминов или в логических выводах; при неточностях задаются дополнительные вопросы.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. Элементы теории функций и функционального анализа. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 572 с.
2. В.И. Лебедев. Функциональный анализ и вычислительная математика. - М.: ВИНТИ, 1994. - 214 с.
3. Л. А. Люстерник, В. И. Соболев. Элементы функционального анализа. - М.: Наука, 1965. – 530 с.
4. Б.З. Вулих. Введение в функциональный анализ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 1958, - 352 с.
5. К. Иосида. Функциональный анализ. - М.: Изд-во «Мир», 1967. – 624 с.
6. Рисс Ф., Сёкефальви-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. - М.: Изд-во «Мир», 1979.
7. У. Рудин. Функциональный анализ. – М.: Изд-во «Мир», 1975. – 444 с.

Дополнительная литература и Интернет-ресурсы

1. М. Рид, Б. Саймон. Методы современной математической физики. Том 1. Функциональный анализ. – М.: Изд-во «Мир» 1977. – 357 с.
2. В.А. Треногин. Функциональный анализ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 488 с.
3. Л. А. Люстерник, В. И. Соболев. Краткий курс функционального анализа – М.: Высш. школа, 1982. – 271 с.
4. Л.В. Канторович, Г.П. Акилов. Функциональный анализ. – М. Наука, 1984. – 752 с.
5. К.И. Бабенко. Основы численного анализа. - Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. - 848 с.
6. Н. Я. Виленкин, Е. А. Горин, А. Г. Костюченко и др. Функциональный анализ (под ред. С.Г. Крейна). - М.: Наука, 1964. - 424 с.
7. А.Я. Хелемский. Лекции по функциональному анализу. - М.: МЦНМО, 2004. - 552 с.

Интернет-ресурсы:

<https://ru.wikipedia.org> - википедия

<http://www.math.ru/> - портал математических интернет-ресурсов

<http://www.mathnet.ru> - общероссийский математический портал Math-Net.Ru

<http://www.allmath.com/> - портал математических интернет-ресурсов

http://exponenta.ru/educat/links/1_catalog.asp - образовательный математический портал

<http://www.mccme.ru/> - сайт Московского Центра Непрерывного Математического Образования

<http://elibrary.ru/> - научная электронная библиотека

www.mathhelpplanet.com – некоммерческий математический форум

<http://edu.ru/subjects/mathematics.html> - российское образование, федеральный портал

<http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm> - международный научно-образовательный сайт EqWorld

<http://www.scintific.narod.ru/> - собрание ссылок на научные поисковые системы

<http://dxdy.ru> - научный форум dxdy

<http://www.eurekanet.ru> - инновационная образовательная сеть Эврика.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения интерактивных методов обучения для чтения лекций требуется аудитория с мультимедиа (возможен вариант с интерактивной доской).

Для проведения дискуссий и круглых столов, возможно, использование аудиторий со специальным расположением столов и стульев.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

Афендигов А.Л., заместитель директора ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, д.ф.-м.н.

Веденяпин В.В., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.

Дудникова Т.В., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.