

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Смоленский государственный университет»

Кафедра математического анализа

«Утверждаю»  
Проректор по учебно-  
методической работе  
\_\_\_\_\_ Ю. А. Устименко.  
«8» сентября 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Б1.О.21 Функциональный анализ**

Направление подготовки: **01.03.02 Прикладная математика и информатика**  
Направленность (профиль): **Математическое и информационное моделирование**  
Форма обучения - очная  
Курс – 3  
Семестр – 5  
Всего зачетных единиц – 4, часов – 144

Форма отчетности: экзамен – 5 семестр

Программу разработал  
кандидат физико-математических наук, доцент Хартов А. А.

Одобрена на заседании кафедры  
«01» сентября 2021г., протокол № 01

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ К.М. Расулов

Смоленск  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Функциональный анализ» относится к обязательной части и изучается в 5 семестре 3 курса бакалавриата. Она является вспомогательной для изучения таких дисциплин, как «Теория вероятностей и математическая статистика», «Численные методы», «Методы оптимизации». Для успешного освоения данной дисциплины необходимы компетенции студентов, сформированные при изучении курса «Математический анализ». Основными целями освоения дисциплины являются:

- содействие становлению базовой профессиональной компетентности бакалавра прикладной математики и информатики на основе формирования у студентов целостного представления об основных понятиях функционального анализа, возможностях их применения к решению задач прикладной математики, а также обеспечение подготовки бакалавра, способного решать следующие профессиональные задачи:

- исследование математических методов моделирования информационных и имитационных моделей по тематике выполняемых научно-исследовательских прикладных задач или опытно-конструкторских работ;

- исследование и разработка математических моделей, алгоритмов, методов программного обеспечения, инструментальных средств по тематике проводимых научных исследований.

Изучение курса основано на традиционных методах высшей школы, тесной взаимосвязи со смежными курсами, а также на использовании современной учебной, методической литературы, информационных и образовательных технологий.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
<b>ОПК-1.</b> Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> основные законы естественнонаучных дисциплин, базовый аппарат математики, необходимые для осуществления профессиональной деятельности; <b>Уметь:</b> применять знания в области естественнонаучных и математических дисциплин для проведения теоретических и экспериментальных исследований в профессиональной деятельности; <b>Владеть:</b> методами математического анализа и моделирования, навыками в области естественнонаучного и инженерного знания, позволяющими осуществлять исследования в профессиональной деятельности.
<b>ОПК-2.</b> Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	<b>Знать:</b> основные математические принципы и методики создания алгоритмов и программ для решения прикладных задач, основные среды для разработки программного обеспечения; <b>Уметь:</b> использовать и адаптировать математические методы для разработки алгоритмов решения прикладных задач, внедрять и адаптировать прикладное программное обеспечение; <b>Владеть:</b> аппаратом математики, современными языками программирования и методиками разработки и внедрения прикладного программного обеспечения.

### 3. Содержание дисциплины

**1. Элементы теории множеств.** Множества и их мощность. Счетные множества и их свойства. Множества мощности континуума и их свойства. Теоремы о мощности промежуточного множества и множестве сколь угодно большой мощности.

**2. Пространства.** Понятие метрического, нормированного и предгильбертова пространств. Сходимости в метрических пространствах. Структура открытых и замкнутых множеств на числовой прямой. Фундаментальные последовательности и их свойства. Понятие полного пространства. Теорема Банаха. Непрерывные отображения метрических пространств. Свойства непрерывных отображений. Непрерывные отображения компактов.

**3. Мера Лебега.** Множества и функции, измеримые по Лебегу.

**4. Интеграл Лебега от ограниченных функций.** Определение интеграла Лебега и его свойства. Сравнение интегралов Римана и Лебега. Теорема Лебега.

**5. Пространства  $L_p$  и  $l_p$ .** Теорема Рисса-Фишера.

### 4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа
1	Элементы теории множеств	28	8	10	10
2	Пространства	46	10	22	14
3	Мера Лебега	17	6	1	10
4	Интеграл Лебега от ограниченных функций	17	6	1	10
5	Пространства $L_p$ и $l_p$	9	4	-	5
7	Экзамен	27	-	-	27
	Итого	144	34	34	49+27

### 5. Виды образовательной деятельности

#### Занятия лекционного типа

**Лекция №1,2. Элементы теории множеств.** Множества и их мощность. Счетные множества и их свойства.

**Лекция №3. Элементы теории множеств.** Множества мощности континуума и их свойства.

**Лекция №4. Элементы теории множеств.** Теоремы о мощности промежуточного множества и множестве сколь угодно большой мощности.

**Лекции №5. Пространства.** Понятие метрического, нормированного и предгильбертова пространств.

**Лекция №6. Пространства.** Сходимости в метрических пространствах.

**Лекция №7. Пространства.** Структура открытых и замкнутых множеств на числовой прямой.

**Лекция №8. Пространства.** Фундаментальные последовательности и их свойства.

**Лекция №9,10. Пространства.** Понятие полного пространства. Теорема Банаха.

**Лекция №10,11,12. Мера Лебега.** Множества и функции, измеримые по Лебегу.

**Лекция №13. Интеграл Лебега от ограниченных функций.** Определение интеграла Лебега и его свойства.

**Лекция №14,15. Интеграл Лебега от ограниченных функций.** Сравнение интегралов Римана и Лебега. Теорема Лебега.

**Лекции 16,17. Пространства  $L_p$  и  $l_p$ .** Определение и основные свойства пространств  $L_p$  и  $l_p$ . Теорема Рисса-Фишера.

### **Занятия семинарского типа – практические занятия**

#### **Практическое занятие № 1. Множества и отображения**

##### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение отображения множества  $A$  во множество  $B$ . Приведите примеры.
2. Что называется образом (прообразом) элемента при заданном отображении?
3. Дайте определение сюръекции. Приведите примеры.
4. Сформулируйте определение взаимно однозначного соответствия (биекции). Приведите примеры.

##### Задания для аудиторной работы

№ 1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.8; 1.11

##### Задания для самостоятельной работы

№ 1.4; 1.6; 1.7; 1.9; 1.10

(см. [1] дополнительной литературы).

#### **Практическое занятие № 2. Отель Гильберта**

##### Теоретические вопросы

1. В чем состоит идея «Отеля Гильберта»?
2. Как применяется «Отель Гильберта» к доказательству равномощности множеств? Приведите примеры.

##### Задания для аудиторной работы

№ 1.36; 1.37; 1.40; 1.41; 1.43

##### Задания для самостоятельной работы

№ 1.38; 1.42; 1.44; 1.45

(см. [2] дополнительной литературы).

#### **Практическое занятие № 3. Счетные множества**

##### Теоретические вопросы

1. Какое множество называется счетным? Приведите примеры.
2. Сформулируйте признаки счетной мощности.
3. Сформулируйте теорему о промежуточном множестве.

##### Задания для аудиторной работы

№ 1.12; 1.13 (см. [1] дополнительной литературы); 1.64; 1.68 (см. [2] дополнительной литературы).

##### Задания для самостоятельной работы

№ 1.67; 1.70; 1.72; 1.77; 1.80 (см. [2] дополнительной литературы).

#### **Практическое занятие № 4. Континуальные множества**

##### Теоретические вопросы

1. Какое множество называется континуальным? Приведите примеры.
2. Сформулируйте признаки континуальности множества.
3. Сформулируйте теорему о промежуточном множестве.

##### Задания для аудиторной работы

№ 1.14; 1.15; 1.21; 1.24

##### Задания для самостоятельной работы

№ 1.16; 1.17; 1.22; 1.26

(см. [1] дополнительной литературы).

## Практическое занятие № 5. Различные мощности множеств

### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте признаки счетности множества.
2. Перечислите признаки континуальной мощности.
3. Сформулируйте теорему о промежуточном множестве.
4. Сравните мощности счетного и континуального множеств.
5. Сформулируйте теорему о существовании множества сколь угодно высокой мощности.
6. В чем состоит континуум-гипотеза?

### Задания для аудиторной работы

№ 1.19; 1.20; 1.27; 1.30; 1.33; 1.34

### Задания для самостоятельной работы

№ 1.23; 1.25; 1.28; 1.29; 1.35

(см. [1] дополнительной литературы).

## Практическое занятие № 6-7. Метрика

### Теоретические вопросы

1. Дайте определение метрики на заданном множестве? Приведите примеры.
2. Сформулируйте определение метрического пространства. Приведите примеры.
3. Что называется, открытым (замкнутым) шаром в метрическом пространстве  $\langle M, \rho \rangle$ ? Приведите примеры.
4. Сформулируйте определение ограниченного множества в метрическом пространстве. Приведите примеры.

### Задания для аудиторной работы

№ 2.1; 2.3; 2.5; 2.7; 2.9

### Задания для самостоятельной работы

№ 2.2; 2.4; 2.6; 2.8

(см. [1] дополнительной литературы).

## Практическое занятие № 8. Нормированные пространства

### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение линейного пространства. Приведите примеры.
2. Дайте определение нормы в линейном пространстве.
3. Сформулируйте определение линейного нормированного пространства. Приведите примеры.
4. Какова связь между метрическим и линейным нормированным пространством?

### Задания для аудиторной работы

№ 2.10; 2.11; 2.13; 2.15

### Задания для самостоятельной работы

№ 2.12; 2.14

(см. [1] дополнительной литературы).

## Практическое занятие № 9. Предгильбертовы пространства

### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение скалярного произведения в линейном пространстве.
2. Дайте определение предгильбертова пространства. Приведите примеры.
3. Сформулируйте теорему о неравенстве Коши-Буняковского в предгильбертовом пространстве.

4. Какова связь между предгильбертовым и линейным нормированным пространством?

Задания для аудиторной работы

№ 2.16; 2.18; 2.20; 2.21; 2.25

Задания для самостоятельной работы

№ 2.17; 2.19; 2.22; 2.23

(см. [1] дополнительной литературы).

**Практическое занятие № 10. Открытые и замкнутые множества**

Теоретические вопросы

1. Дайте определение замкнутого множества в метрическом пространстве. Приведите примеры.
2. Сформулируйте теоремы о пересечении и объединении замкнутых множеств.
3. Дайте определение открытого множества в метрическом пространстве. Приведите примеры.
4. Сформулируйте критерий открытого множества в метрическом пространстве.
5. Сформулируйте теоремы об объединении и пересечении открытых множеств.
6. Какова структура открытых и замкнутых множеств на числовой прямой?

Задания для аудиторной работы

№ 3.1; 3.3; 3.4; 3.9; 3.11; 3.14

Задания для самостоятельной работы

№ 3.2; 3.5; 3.8; 3.10; 3.15

(см. [1] дополнительной литературы).

**Практическое занятие № 11. Фундаментальные последовательности**

Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение фундаментальной последовательности в метрическом пространстве  $\langle M, \rho \rangle$ . Приведите примеры.
2. Перечислите основные свойства фундаментальных последовательностей.
3. Какое метрическое пространство называется полным? Приведите примеры.

Задания для аудиторной работы

№ 4.1; 4.3; 4.5; 4.6; 4.9

Задания для самостоятельной работы

№ 4.2; 4.4; 4.7; 4.8

(см. [1] дополнительной литературы).

**Практическое занятие № 12. Неподвижные точки отображений**

Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение отображения метрических пространств. Приведите примеры.
2. Какое отображение метрических пространств называется отображением пространства в себя? Приведите примеры.
3. Сформулируйте определение неподвижной точки отображения. Приведите примеры.

Задания для аудиторной работы

№ 4.10; 4.11; 4.13; 4.15

Задания для самостоятельной работы

№ 4.12; 4.14; 4.16

(см. [1] дополнительной литературы).

### **Практическое занятие № 13. Сжимающие отображения**

#### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение сжимающего отображения. Приведите примеры.
2. Что называется, константой сжатия?
3. Каково необходимое условие сжимающего отображения?
4. Сформулируйте теорему Банаха.

#### Задания для аудиторной работы

№ 4.20; 4.21; 4.23

#### Задания для самостоятельной работы

№ 4.22; 4.24; 4.25

(см. [1] дополнительной литературы).

### **Практическое занятие № 14-15. Принцип сжимающих отображений**

#### Теоретические вопросы

1. Что называется, последовательностью итераций отображения в себя? Приведите примеры.
2. Какими свойствами обладает последовательность итераций отображения в себя?
3. Сформулируйте теорему Банаха.
4. Как применяется теорема Банаха к решению скалярных уравнений и их систем?
5. Какова оценка погрешности приближенного решения скалярного уравнения и их систем?
6. Как применяется теорема Банаха к решению дифференциальных уравнений и их систем? Какова оценка погрешности приближенного решения?
7. Каким образом используется теорема Банаха к решению интегральных уравнений?

#### Задания для аудиторной работы

№ 4.27; 4.29; 4.30; 4.31; 4.36

#### Задания для самостоятельной работы

№ 4.26; 4.28; 4.32; 4.37

(см. [1] дополнительной литературы).

### **Практическое занятие № 16. Непрерывные отображения**

#### Теоретические вопросы

1. Сформулируйте определение оператора. Приведите примеры.
2. Что называется, функционалом? Приведите примеры.
3. Сформулируйте определение непрерывного оператора. Приведите примеры.
4. Дайте определение компактного множества в метрическом пространстве. Приведите примеры.
5. Сформулируйте теоремы о непрерывном отображении компактов.
6. Какими свойствами обладают непрерывные функционалы, определенные на компакте? Приведите примеры.

#### Задания для аудиторной работы

№ 6.1; 6.3; 6.5; 6.10; 7.1; 7.4; 7.16

#### Задания для самостоятельной работы

№ 6.11; 6.20; 7.2; 7.5; 7.17

(см. [2] дополнительной литературы).

### **Практическое занятие № 17. Мера и интеграл Лебега**

#### Теоретические вопросы

1. Дайте определение измеримого по Лебегу ограниченного множества на числовой прямой. Приведите примеры.

2. Перечислите основные свойства измеримых множеств.
3. Существуют ли множества неизмеримые по Лебегу?
4. Сформулируйте определение функции, измеримой на множестве. Приведите примеры.
5. Какие функции называются эквивалентными на данном множестве? Приведите примеры.
6. Перечислите основные свойства измеримых функций.
7. Сформулируйте определение функции, интегрируемой по Лебегу. Приведите примеры.
8. Какова связь между интегрируемостью по Риману и Лебегу?
9. Каково необходимое и достаточное условие интегрируемости функции по Риману? Приведите примеры.
10. Существуют ли функции неинтегрируемые по Лебегу?

#### Задания для аудиторной работы

№ 5.1; 5.2; 5.3; 5.9; 5.12; 5.14

#### Задания для самостоятельной работы

№ 5.4; 5.7; 5.16; 5.17; 5.24

(см. [1] дополнительной литературы).

### **Самостоятельная работа**

Задания для самостоятельной работы приводятся в планах практических занятий.

В самостоятельной работе возможно использование учебников [1]-[4] списка основной литературы.

## **6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)**

### **6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации**

Текущая аттестация осуществляется на каждом практическом занятии в процессе фронтального опроса, выполнения заданий для аудиторной работы, в процессе проверки домашней самостоятельной работы. Проведение текущего контроля осуществляется также посредством проведения аудиторных контрольных работ.

#### **I. Контрольные вопросы для проверки теоретической подготовки к практическому занятию.**

Перечень вопросов приводится в планах практических занятий.

#### **Критерии оценивания ответа на теоретический вопрос**

**"Отлично"** выставляется студенту, который демонстрирует при ответе всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой. Свободно ориентируется в основной и дополнительной литературе, рекомендованной программой, а также показывает усвоение взаимосвязи основных понятий дисциплины и их значений для приобретаемой профессии, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**"Хорошо"** выставляется студенту, который демонстрирует при ответе хорошее знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные задания, усвоил основную литературу, рекомендованную в программе. Показывает систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

**"Удовлетворительно"** выставляется студенту, обнаружившему знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учёбы и предстоящей работы по профессии, справляющимся с выполнением заданий, предусмотренных программой,



знакомый с основной литературой, рекомендованной программой, допустившим погрешности в ответе, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

**"Неудовлетворительно"** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не ознакомившемуся с основной литературой, предусмотренной программой, и не овладевшему базовыми знаниями, предусмотренными по данной дисциплине и определёнными предметными умениями.

### II. Задания для самостоятельной работы.

Перечень практических заданий для самостоятельной работы приводится в планах практических занятий.

#### Критерии оценивания выполнения заданий для самостоятельной работы

Показатель	Количество баллов
1) Приведена краткая форма условия задачи	0,5
2) Выполнен рисунок к условию задачи, на котором обозначены все необходимые параметры задачи	0,5
3) Проведен анализ условия задачи, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче, а также законов, положенных в основу решения задачи	1
4) Записаны математические уравнения законов, используемых при решении задачи	1
5) Приведено решение математических уравнений и получен численный ответ на вопрос задачи	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

### III. Контрольная работа по дисциплине.

*Образец контрольной работы:*

1. Какова мощность множества всех треугольников на плоскости, вершины которых имеют рациональные координаты? Ответ обосновать.

2. Является ли множество действительных чисел метрическим пространством, если расстояние между элементами этого множества определяется по формуле

$$d(x, y) = \sqrt{|y - x|} \text{ ?}$$

3. Докажите, что последовательность  $x_n$  имеет предел и найдите его, если

$$x_{n+1} = \frac{x_n}{2 + x_n} \quad (x_0 = 1).$$

4. Докажите, что множество рациональных и иррациональных чисел отрезка  $[0; 1]$  измеримы и найдите их меры Лебега.

5. Проверьте, интегрируема ли функция  $f(x)$  на отрезке  $[0; 2]$  по Риману. Докажите, что она интегрируема по Лебегу и найдите интеграл, если

$$f(x) = \begin{cases} -x^2, & \text{если } x = \frac{1}{n}, \\ 1, & \text{если } x \neq \frac{1}{n}. \end{cases}$$

## Критерии оценивания контрольной работы

### Нормы оценивания работы

№ п/п	Структурная часть контрольной работы	Количество баллов (*)
1	Правильно решенное задание	1 балл

(\*) Возможна градация в 0,25 балла.

### Шкала оценивания работы:

п/п	Оценка	Количество баллов
1	Отлично	4,75-5
2	Хорошо	3,75-4,5
3	Удовлетворительно	3-3,5
4	Неудовлетворительно	менее 3

## 6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация осуществляется проведением экзамена.

### Вопросы к экзамену

1. Равномощные множества. Теорема о неравномощности множества натуральных чисел и множества действительных чисел.
2. Сравнение мощностей. Теорема о промежуточном множестве.
3. Теорема Кантора-Бернштейна.
4. Счетные множества. Признаки счетной мощности.
5. Прямое произведение счетных множеств.
6. Минимальность счетной мощности.
7. Теорема о счётности множества алгебраических чисел.
8. Континуальные множества. Теорема об объединении континуальных множеств.
9. Множество последовательностей из натуральных чисел.
10. Прямое произведение континуальных множеств.
11. Существование множеств сколь угодно высокой мощности.
12. Понятие метрического пространства. Примеры.
13. Линейные нормированные пространства. Примеры.
14. Пространства со скалярным произведением. Примеры.
15. Понятие предела последовательности в метрическом пространстве. Свойства сходящихся последовательностей.
16. Сходимость в метрических пространствах  $R_1^n$ ,  $R_2^n$ ,  $R_\infty^n$ .
17. Замкнутые множества. Свойства замкнутых множеств.
18. Открытые множества. Свойства открытых множеств.
19. Теорема о структуре открытых и замкнутых множеств на числовой прямой.
20. Фундаментальные последовательности в метрических пространствах.
21. Полные и неполные метрические пространства.
22. Неподвижные точки отображения. Примеры.
23. Сжимающее отображение. Примеры.
24. Теорема Банаха.
25. Применение теоремы Банаха для решения уравнений.
26. Применение теоремы Банаха для решения систем линейных уравнений.
27. Понятие внешней и внутренней меры множества. Основные свойства.
28. Понятие измеримого множества по Лебегу. Свойства измеримых множеств.
29. Признаки измеримости множества.
30. Измеримые функции. Примеры.
31. Свойства измеримых функций.
32. Понятие нижних и верхних сумм Лебега и их свойства.

33. Определение интеграла Лебега. Свойства интеграла Лебега.  
 34. Сравнение интегралов Римана и Лебега. Примеры.  
 35. Пространство  $L_2$  и его основные свойства.  
 36. Пространство  $l_2$  и его основные свойства.  
 37. Теорема Рисса-Фишера.

Образец экзаменационного билета

1. Докажите теорему о неравномоности множества натуральных чисел и множества действительных чисел.
2. Сформулируйте теорему Банаха. Дайте определения *всех* понятий, входящих в ее формулировку.
3. Докажите, что формула  $\|a\| = |x| + |y| + |z|$  задает ли норму вектора  $a = (x; y; z)$  и найдите расстояние между точками  $a = (1; -1; 2)$  и  $b = (-1; 2; 1)$ .

4. Пусть  $E = \bigcup_{n=1}^{\infty} E_n$ , где  $E_n = \left\{ (x, y) \in R^2 \mid x^2 + y^2 = \frac{1}{n^2} \right\}$ . Найдите:

- а) множество  $\partial E$  граничных точек  $E$ ;
- б) мощность множества  $\partial E$ .

5. Докажите, что функция  $f(x) = \begin{cases} x^3, & \text{если } x - \text{алгебраическое,} \\ x^2, & \text{если } x - \text{трансцендентное} \end{cases}$  интегрируема по

Лебегу на отрезке  $[0; \sqrt{2}]$  и найдите интеграл  $\int_0^{\sqrt{2}} f(x) dx$ .

**Критерии оценивания ответа на экзамене**

Нормы оценивания работы

№ п/п	Структурная часть работы	Количество баллов (*)
1	Правильный ответ на вопрос или правильное решение задания	1 балл

(\*) Возможна градация в 0,25 балла.

Шкала оценивания работы:

п/п	Оценка	Количество баллов
1	Отлично	4,75-5
2	Хорошо	3,75-4,5
3	Удовлетворительно	3-3,5
4	Неудовлетворительно	менее 3

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

**7.1. Основная литература**

1. Ильин В. А. Математический анализ в 2 ч. Часть 1 в 2 кн. Книга 1: учебник для академического бакалавриата / В. А. Ильин, В. А. Садовничий, Б. Х. Сендов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 324 с. [электронный ресурс: <https://urait.ru/bcode/452409>].

2. Ильин В. А. Математический анализ в 2 ч. Часть 1 в 2 кн. Книга 2: учебник для академического бакалавриата / В. А. Ильин, В. А. Садовничий, Б. Х. Сендов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 315 с. [электронный ресурс: <https://urait.ru/bcode/437204>].

3. Ильин В. А. Математический анализ в 2 ч. Часть 2: учебник для академического бакалавриата / В. А. Ильин, В. А. Садовничий, Б. Х. Сендов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 324 с. [электронный ресурс: <https://urait.ru>].

4. Далингер, В. А. Теория функций действительного переменного : учебник и практикум для вузов / В. А. Далингер, С. Д. Симонженков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 242 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8999-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471145>

### 7.2. Дополнительная литература

1. Петров В.А. Задачник по теории функций действительного переменного. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2006.

2. Петров В.А., Виленкин Н.Я., Граев М.И. Элементы функционального анализа в задачах. М.: Просвещение, 1978.

3. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1989.

4. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной. М.: Наука, 1974.

5. Очан Ю.С. Сборник задач и теорем по теории функций действительного переменного. М.: Просвещение, 1962.

6. Петров В.А. Задачник по теории функций действительного переменного. Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2006.

### 7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Система дистанционного обучения Смоленского государственного университета <http://cdo.smolgu.ru>

2. Электронно-библиотечная система университета <http://biblioteka.smolgu.ru>

3. Национальный открытый университет <http://www.intuit.ru>

4. Общероссийский математический портал <http://www.mathnet.ru>

5. Кафедральная электронная библиотека.

## 8. Материально-техническое обеспечение

**Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа**, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, ноутбуком, колонками и интерактивной доской.

**Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации**, оснащенная стандартной учебной мебелью. Доступна электронная библиотека кафедры математического анализа.

**Помещение для самостоятельной работы** – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

## 9. Программное обеспечение

Microsoft Open License (Windows XP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0  
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич  
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022