

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Факультет математики и информационных технологий
Кафедра математического анализа и дифференциальных уравнений



УТВЕРЖДАЮ

проректор

П.А. Машаров

« 29 » марта 2024 г.

П.А. Машаров

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Укрупненная группа направлений
подготовки
Программа высшего образования
Направление подготовки
Магистерская программа
Квалификация
Форма обучения

01.00.00 Математика и механика
Программа магистратуры
01.04.01 Математика
Математика
Магистр
Очная

Рабочая программа адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «Функциональные уравнения» для обучающихся по направлению подготовки 01.04.01 Математика (Магистерская программа: Математика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 01.04.01 Математика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 января 2018 г. № 12 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:
профессор кафедры математического анализа и
дифференциальных уравнений,
доктор физ.-мат. наук



В.В. Волчков

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры математического анализа и
дифференциальных уравнений.
Протокол от 26.03.2024 г. № 10

Заведующий кафедрой



В.В. Волчков

СОГЛАСОВАНО:

Декан факультета математики и
информационных технологий
28.03.2024 г.



И.А. Моисеенко

Учебно-методическая комиссия факультета математики и информационных технологий.
Протокол от 27.03.2024 г. № 3.
Председатель



Л. И. Селякова

Руководитель основной профессиональной
образовательной программы,
д-р физ.-мат. наук, зав. каф. МАиДУ, проф.
26.03.2024 г.



В.В. Волчков

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

базовая подготовка по математике в объёме программы средней школы;

дисциплины программы бакалавриата: Математический анализ, Комплексный анализ, Функциональный анализ, Теория меры и интеграла.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Методика преподавания математических дисциплин в ВУЗе, Научный семинар по вопросам математического анализа, Научный семинар по вопросам математического анализа, Производственная практика: научно-исследовательская работа, Производственная практика: преддипломная практика, Выполнение и защита выпускной квалификационной работы.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

| Наименование показателя | Значение показателя |
|---|--|
| Название образовательной программы | 01.04.01 Математика (Магистерская программа: Математика) |
| Шифр и название в соответствии с учебным планом | Б1.В.ДВ.2.1 Функциональные уравнения |
| Часть образовательной программы | Вариативная часть: выбор обучающегося |
| Количество зачетных единиц/ всего часов | 4 / 144 |

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

| Форма обучения | курс | семестр | Общее количество часов | | | | | Форма контроля |
|----------------|------|---------|------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-------|----------------|
| | | | лекционных | лабораторных | практических | самостоятельной работы + контроль | всего | |
| Очная | 1 | 2 | 17 | – | 51 | 76 | 144 | зачёт |

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование научного мировоззрения; овладение новым математическим аппаратом; углубленная подготовка в области анализа (вещественного и комплексного); подготовка к профессиональной деятельности; подготовка к чтению специальной литературы.

4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

4.1. Компетенции

ПК-3. Способен осуществлять преподавание по программам бакалавриата и ДПП, ориентированным на соответствующий уровень квалификации

Индикаторы компетенций

ПК-3.3. Применяет классические и современные математические методы для решения фундаментальных задач анализа и интегральной геометрии.

4.2. Результаты обучения

ПК-3.3.1. Знает определения и утверждения, приёмы доказательства утверждений, методы решения задач анализа и интегральной геометрии.

ПК-3.3.2. Умеет выбирать и использовать необходимые математические методы и вычислительные средства, решать задачи дисциплины (находить инфинитезимальные операторы, находить меру Хаара на группе, вычислять интегралы от специальных функций).

ПК-3.3.3. Владеет методами решения функциональных уравнений и их применением в задачах анализа и интегральной геометрии.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

| Название темы | Краткое содержание темы (вопросы темы) |
|---|--|
| Раздел 1. Основные понятия | 1.1. Классы функций 1.2. Функциональные уравнения 1.3. Аксиома выбора |
| Раздел 2. Линейные пространства | 2.1. Линейные пространства 2.2. Свойства и примеры 2.3. Базис Гамеля. |
| Раздел 3. Уравнение Коши. | 3.1. Решение уравнения Коши в классе непрерывных функций. 1.5. Решение уравнения Коши в классе монотонных функций. 1.6. Решение уравнения Коши в классе дифференцируемых функций |
| Раздел 4. Другие функциональные уравнения | 4.1. Решение уравнения Коши в классе локально ограниченных функций. 4. Уравнения без свободных переменных. 2.2. Уравнения со свободными переменными |

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 1, семестр – 2

| Наименования разделов и тем | Количество часов | | | | |
|---|------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| | Лекц. | Лабор. | Практ. | СРС+К | Всего |
| Раздел 1. Основные понятия | 4 | | 12 | 10 | 26 |
| 1.1 Классы функций | 2 | | 4 | 4 | 10 |
| 1.2. Функциональные уравнения | 1 | | 4 | 4 | 9 |
| 1.3. Аксиома выбора | 1 | | 4 | 6 | 11 |
| Раздел 2. Линейные пространства | 4 | | 12 | 10 | 22 |
| 2.1. Линейные пространства | 1 | | 4 | 4 | 9 |
| 2.2. Свойства и примеры | 1 | | 4 | 2 | 7 |
| 2.3. Базис Гамеля | 2 | | 4 | 4 | 10 |
| Раздел 3. Уравнение Коши. | 5 | | 14 | 16 | 35 |
| 3.1. Решение уравнения Коши в классе непрерывных функций | 1 | | 4 | 4 | 7 |
| 3.2. Решение уравнения Коши в классе монотонных функций. | 3 | | 6 | 8 | 17 |
| 3.3. Решение уравнения Коши в классе дифференцируемых функций | 1 | | 4 | 4 | 9 |

| | | | | | |
|--|-----------|----------|-----------|-----------|------------|
| Раздел 4. Другие функциональные уравнения | 4 | | 13 | 13 | 25 |
| 4.1. Решение уравнения Коши в классе локально ограниченных функций | 1 | | 4 | 3 | 8 |
| 4.2. Уравнения без свободных переменных. | 2 | | 5 | 7 | 14 |
| 4.3 Уравнения со свободными переменными | 1 | | 4 | 3 | 8 |
| ИТОГО ЗА СЕМЕСТР / ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП | 17 | – | 51 | 76 | 144 |

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

- 1.1. Классы функций
- 1.2. Функциональные уравнения
- 1.3. Аксиома выбора

Раздел 2

- 2.1. Линейные пространства
- 2.2. Свойства и примеры
- 2.3. Базис Гамеля.

Раздел 3

- 3.1. Решение уравнения Коши в классе непрерывных функций.
- 3.2. Решение уравнения Коши в классе монотонных функций.
- 3.3. Решение уравнения Коши в классе дифференцируемых функций

Раздел 4

- 4.1. Решение уравнения Коши в классе локально ограниченных функций.
- 4.2 Уравнения без свободных переменных.
- 4.3. Уравнения со свободными переменными

7.2. Темы докладов (рефератов)

1. Аксиома выбора и лемма Цорна.
2. Линейные пространства.
3. Базис Гамеля.
4. Решение уравнения Коши в классе непрерывных функций.
5. Решение уравнения Коши в классе монотонных функций.
6. Решение уравнения Коши в классе дифференцируемых функций.
7. Решение уравнения Коши в классе локально ограниченных функций.
8. Уравнения без свободных переменных.
9. Уравнения со свободными переменными.
10. Уравнение типа Коши для экспоненты.
11. Уравнение типа Коши для логарифма.
12. Уравнение типа Коши для степенной функции.
13. Функциональные уравнения для тригонометрических функций.
14. Фракталы.

15. Лестница Кантора.
16. Функция Ван дер Вардена.

7.3. Темы письменных работ (типы задач)

Контрольные работы по практике темам:

- Уравнения без свободных переменных
- Уравнение типа Коши для логарифма
- Функциональные уравнения для тригонометрических функций

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

7.4. Образец содержания экзаменационного билета:

1. Теорема Коши.
2. Линейные пространства.
3. Найдите решение мультипликативного уравнения Коши.

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кого набранные баллы не устраивают, сдают экзамен. Максимальное количество баллов за экзамен – 100. Оценка за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на экзамене и выставляется согласно принятому порядку.

8.1. Семестр 2

| Номера разделов | Виды работ | Максимальное количество баллов |
|-----------------------|--|--------------------------------|
| 1-4 | Организационно-учебная работа в аудитории | 5 |
| | Самостоятельная работа | 5 |
| | Контрольные работы по практике | 50 |
| | Контрольная работа по теоретическому материалу | 40 |
| ИТОГО | | 100 |
| Экзамен | | 100 |
| Общий итог за семестр | | 100 |

Соответствие баллов оценке

| Количество баллов из 100 | ECTS | Оценка по пятибалльной шкале | |
|--------------------------|------|-----------------------------------|------------|
| | | Экзамен, дифференцированный зачет | Зачет |
| 90-100 | A | отлично | зачтено |
| 80-89 | B | хорошо | зачтено |
| 75-79 | C | | зачтено |
| 70-74 | D | удовлетворительно | зачтено |
| 60-69 | E | | зачтено |
| 35-59 | FX | неудовлетворительно | не зачтено |
| 0-34 | F | | не зачтено |

9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- 1) для слепых и слабовидящих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
 - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
 - письменные задания оформляются увеличенным шрифтом.
- 2) для глухих и слабослышащих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа;
 - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
 - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- 3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
 - письменные задания выполняются на компьютере;
 - экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- 1) для слепых и слабовидящих:
 - в печатной форме увеличенным шрифтом;
 - в форме электронного документа;
- 2) для глухих и слабослышащих:
 - в печатной форме;

- в форме электронного документа.
- 3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - в печатной форме;
 - в форме электронного документа.

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в Главном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Гурова, 6). Для проведения лабораторных занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете Главного корпуса (ауд.405).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

11. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

11.1. Основная литература

1. Бродский, Я. С. Функциональные уравнения / Я. С. Бродский, А. К. Слипенко. - Киев: Вища шк., 1983. - 96 с.
2. Л.М. Лихтарников Элементарное введение в функциональные уравнения. - СПб, Лань, 1997 - 160с.

11.2. Дополнительная литература

3. Ацель Я. Некоторые общие методы теории функциональных уравнений одной переменной. Новые применения функциональных уравнений / Я.Ацель // Успехи математических наук. – 1956. – Т. 11:3(69), с. 3-68.

12. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.

2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

4. Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. ЭБС Юрайт: электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. Электронно-библиотечная система ДонГУ: сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. Электронный каталог Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
8. Электронный архив ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

13. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. MicrosoftOffice (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. MicrosoftVisualStudio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, AdobeAcrobatReader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).