

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной деятельности КФУ  
проф. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Программа дисциплины**

Линейные уравнения в банаховых пространствах

Направление подготовки: 01.04.01 - Математика

Профиль подготовки: Анализ на многообразиях

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Бикчантаев И.А. (Кафедра теории функций и приближений, отделение математики), lldar.Bikchantaev@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен формулировать и решать актуальные и значимые задачи фундаментальной и прикладной математики
ПК-4	Способен ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики; обладать способностями к эффективному применению и реализации математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах
ПК-5	Способен находить и извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, реферативных журналов и т.п.
ПК-6	Способен составлять научные обзоры, рефераты и отчеты по тематике проводимых исследований, а также подготовить научную публикацию
ПК-7	Обладать навыками преподавания математики и информатики в средней школе, специальных учебных заведениях, высших учебных заведениях на основе полученного фундаментального образования

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен демонстрировать способность и готовность:

- 1) понимать роль и место дисциплины в структуре общего курса математического анализа, понимать основные идеи, лежащие в основе теории линейных операторов;
- 2) обладать теоретическими знаниями и иметь четкое представление о методах построения теории линейных уравнений в банаховых пространствах;
- 3) приобрести навыки для постановки и решения новых задач, приводящих к решению линейных уравнений в банаховых пространствах.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.05.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.01 "Математика (Анализ на многообразиях)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 42 часа(ов), в том числе лекции - 14 часа(ов), практические занятия - 28 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 66 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Линейные уравнения. Основные понятия	2	2	4	0	14
2.	Тема 2. Уравнения с замкнутым оператором	2	2	4	0	14
3.	Тема 3. Уравнение с замкнутым оператором, имеющем плотную область определения.	2	2	4	0	14
4.	Тема 4. Нормально разрешимые уравнения с конечномерным нуль-пространством	2	2	4	0	12
5.	Тема 5. Нормально разрешимые уравнения с конечномерным нуль-пространством	2	2	4	0	12
<b>4.2 Содержание дисциплины (модуля)</b>						
6.	Тема 6. Априорные оценки.	2	2	4	0	0
<b>Тема 1. Линейные уравнения. Основные понятия</b>						
Приводятся основные положения функционального анализа (принцип открытости отображения, теорема Хана-Банаха, принцип равномерной ограниченности). Дается определение области значений, области определения, нормальной разрешимости, плотной разрешимости линейного уравнения в банаховом пространстве. Доказывается, что подпространство локально компактно тогда и только тогда, когда оно конечномерно.						

#### Тема 2. Уравнения с замкнутым оператором

Дается определение замкнутого оператора. Доказывается теорема Банаха: Если замкнутый оператор определен на всем банаховом пространстве, то он ограничен. Доказывается, что для уравнения с замкнутым оператором корректная разрешимость эквивалентна однозначной нормальной разрешимости. Вводится понятие обобщенного решения линейного уравнения.

#### Тема 3. Уравнение с замкнутым оператором, имеющем плотную область определения.

Доказано, что если оператор  $A$  замкнут, то из замкнутой разрешимости сопряженного уравнения следует нормальная разрешимость исходного уравнения. Доказывается, что если оператор  $A$  замкнут, то замкнутая разрешимость и нормальная разрешимость уравнения  $(A^*)$  эквивалентны. Доказывается, что для того, чтобы уравнение  $(A)$  с замкнутым оператором было везде разрешимым, необходимо и достаточно, чтобы сопряженное уравнение было корректно разрешимым.

#### Тема 4. Нормально разрешимые уравнения с конечномерным нуль-пространством

Доказывается следующее утверждение: Для того, чтобы уравнение  $(A)$  с замкнутым оператором  $A$  было нормально разрешимо и однородное уравнение  $Ax=0$  имело лишь конечное число линейно независимых решений, необходимо и достаточно, чтобы прообраз каждого компактного множества из  $R(A)$  был локально компактным.

#### Тема 5. Нормально разрешимые уравнения с конечномерным нуль-пространством

Если уравнение  $(A)$  нормально, то уравнение  $Ax+Bx=y$ , где  $B$  --- любой вполне непрерывный оператор, действующий из  $E$  в  $F$ , также нормально разрешимо. Доказывается теорема: Для того, чтобы уравнение  $(A)$  с замкнутым оператором  $A$  было нормально разрешимо и однородное уравнение  $Ax=0$  имело лишь конечное число линейно независимых решений, необходимо и достаточно, чтобы прообраз каждого компактного множества из  $R(A)$  был локально компактным.

#### Тема 6. Априорные оценки.

Доказывается, что если  $E$  компактно вложено в  $E_0$ , то для уравнения с замкнутым оператором  $A$  наличие априорной оценки является необходимым и достаточным условием его  $n$ -нормальности. Доказывается, что для того, чтобы уравнение  $(A)$  с замкнутым оператором, действующим в пространстве  $F$ , было  $n$ -нормальным, достаточно, чтобы пространство  $E_0$  было компактно вложено в пространство  $E_0$ .

## Тема 7. Нётеровы уравнения, индекс.

Дается понятие нетерова оператора и доказывается следующая теорема. Если оператор  $A$  нётеров, то оператор  $\tilde{A}$  нётеров, причем  $\text{ind } \tilde{A} = -\text{ind } A$ . Здесь  $\tilde{A}$  означает линейное конечномерное расширение оператора. Доказывается теорема: Если операторы  $A$  и  $B$  нётеровы и оператор  $B$  имеет плотную область определения, то  $\text{ind}(BA) = \text{ind } A + \text{ind } B$ .

### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Филимоненкова Н.В. Конспект лекций по функциональному анализу Конспект лекций по функциональному анализу Приобрести в личное пользование Филимоненкова Н.В Конспект лекций по функциональному анализу Конспект лекций по функциональному анализу. 2015. Издательство "Лань" - [https://e.lanbook.com/book/64343?category\\_pk=911#authors](https://e.lanbook.com/book/64343?category_pk=911#authors)

Бутко А.Я. Элементы функционального анализа и методы математической физики: учеб. пособие: в 2 частях. Часть 1. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. 2011 - [https://e.lanbook.com/book/58439?category\\_pk=911#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/58439?category_pk=911#book_name)

Власова Е.А., Марчевский И.К. Элементы функционального анализа. Издательство "Лань" 2015. - [https://e.lanbook.com/book/67481?category\\_pk=911#authors](https://e.lanbook.com/book/67481?category_pk=911#authors)

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие суть тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставить в рабочих конспектах поля для пометок. Не следует стесняться задавать лектору вопросы, если какие-либо аспекты лекционного материала оказались непонятными.
практические занятия	Работа на практических занятиях предполагает систематическую и планомерную подготовку к занятию. После лекции следует познакомиться с планом практических занятий и списком обязательной и дополнительной литературы, которую необходимо прочитать, изучить и законспектировать. Разъяснение по вопросам новой темы даются преподавателем в конце предыдущего практического занятия.
самостоятельная работа	<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА</b> требует, прежде всего, изучения рекомендуемых источников и монографических работ, их реферирования, подготовки докладов и сообщений. Важным этапом в самостоятельной работе является повторение материала по конспекту лекции. Одна из главных составляющих внеаудиторной подготовки - работа с учебником. Она предполагает: внимательное прочтение, критическое осмысление содержания, обоснование собственной позиции по дискуссионным моментам, постановки интересующих вопросов, которые могут стать предметом обсуждения на семинаре. При работе с терминами необходимо обращаться к словарям, в том числе доступным в Интернете, например, на сайте <a href="http://dic.academic.ru">http://dic.academic.ru</a> .
экзамен	При подготовке к ЭКЗАМЕНУ необходимо тщательно проработать лекции. Следует также обратить внимание на дополнительную литературу и источники, которые разбирались на семинарах в течение семестра. Ответ на экзамене предполагает полное и последовательное изложение изученного материала, а также демонстрацию способности и готовности применить полученные теоретические знания к предлагаемым практическим заданиям.

### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

### 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Компьютерный класс.



## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.01 "Математика" и магистерской программе "Анализ на многообразиях".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.05.05 Линейные уравнения в банаховых  
пространствах

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 01.04.01 - Математика

Профиль подготовки: Анализ на многообразиях

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

**Основная литература:**

1.Филимоненкова, Н.В. Конспект лекций по функциональному анализу [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Филимоненкова. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 176 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64343>

2.Бесов, О.В. Лекции по математическому анализу [Электронный ресурс] : учебник / О.В. Бесов. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2016. - 480 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91150>

**Дополнительная литература:**

1. Методические разработки по курсу 'Математический анализ. Теория меры и интеграл Лебега' / ; Казан. гос. ун-т, Каф. мат. статистики; Сост. В.Т.Дубровин .- Казань, 2000. - 47 с.

2. Групповой анализ дифференциальных уравнений: [учебно-методическое пособие] / В. В. Шурыгин; Казан. (Приволж.) федер. ун-т.-Казань: [Казанский (Приволжский) федеральный университет], 2010.-55 с.

3. Власова, Е.А. Элементы функционального анализа [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.А. Власова, И.К. Марчевский. - Электрон. дан. - СПб: Лань, 2015. - 400 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/67481>



Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.05.05 Линейные уравнения в банаховых  
пространствах

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.04.01 - Математика

Профиль подготовки: Анализ на многообразиях

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.