ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Лектор — Виктор Алексеевич Александров

Программа курса лекций
(3-й семестр, лекции 32 ч., семинары 32 ч., экз.)

1. Ряды Фурье

Понятие ряда Фурье 2π-периодической функции и задача о разложении периодической функции в ряд Фурье. Ряд Фурье функции с произвольным периодом. Разложения только по синусам или только по косинусам. Лемма Римана — Лебега для конечного промежутка. Ядро Дирихле. Теорема о представимости функции в точке своим рядом Фурье. Разложение функции $f(x) = \frac{\pi}{4}\operatorname{sign} x$, $x \in (-\pi, \pi)$ в ряд Фурье и применение получившегося ряда Фурье к суммированию числового ряда. Комплексная форма ряда Фурье. Теоремы о дифференцировании и интегрировании рядов Фурье. Задача о наилучшем приближении тригонометрическими многочленами и неравенство Бесселя для тригонометрических рядов. Равномерная сходимость рядов Фурье. Явление Гиббса. Равенство Ляпунова, обобщённое равенство Ляпунова и равенство Ляпунова в комплексной форме. Теоремы Вейерштрасса о равномерном приближении тригонометрическими и алгебраическими многочленами.

Литература: основная — 4, 5; дополнительная — 9, 10, 11, 12.

2. Преобразование Фурье

Интеграл Фурье как предельная форма ряда Фурье. Теорема о представимости функции в точке её интегралом Фурье. Представление функции интегралом Фурье на полупрямой. Прямое и обратное синус- и косинус-преобразования Фурье. Вычисление синус- и косинус-преобразования Фурье функции $f(x) = e^{-ax}$, $x > 0$, $a > 0$. Представление функции $f(x) = e^{-ax}$ её интегралом Фурье и вычисление интегралов Лапласа. Комплексная форма интеграла Фурье. Преобразование Фурье и формула обращения. Вычисление прямого и обратного преобразования Фурье от функции e^{-ax^2}, $x \in \mathbb{R}$, $a > 0$. Быстро убывающие функции: определение, примеры и основные свойства. Преобразование Фурье быстро убывающих функций: определение и основные свойства. Равенство Парсеваля. Свёртка быстро убывающих функций: определение и свойства. Формула Пуассона. Теорема Котельникова — Шеннона и её применение в теории цифровой передачи информации.

Литература: основная — 3, 6; дополнительная — 9, 10, 12.

3. Преобразование Лапласа

Оригиналы и изображения. Определение и простейшие свойства преобразования Лапласа: линейность, теорема подобия, смещение изображения. Преобразование Лапласа производных и интегралов. Дифференцирование и интегрирование изображений. Применение преобразования Лапласа к решению начальных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Дальнейшие свойства преобразования Лапласа: аналитичность изображения, формула обращения, запаздывание оригинала, свёртка оригиналов, теорема Бореля об умножении изображений, формула Дюамеля.

Литература: основная — 2; дополнительная — 10.

4. Обобщённые функции

Пространства основных и обобщённых функций. Примеры обобщённых функций: регулярные обобщённые функции, δ-функции, $\mathcal{P}\frac{1}{x}$, $\frac{1}{x \pm i0}$. Формулы Сохоцкого. Сходимость обобщённых функций: наводящие соображения и определение. Дельта-образные последовательности. Теорема о пределе дельта-образной последовательности. Плотность тела, вся масса которого сосредоточена в одной точке. Линейная замена переменной в обобщённой функции: наводящие соображения, определение, вычисление выражений $\delta(-x)$ и $\delta(x - x_0)$. Нелинейная замена переменной в одномерной дельта-функции. Умножение обобщённых функций на бесконечно дифференцируемые: наводящие соображения, определение, вычисление выражений $a(x)\delta(x)$ и $x\mathcal{P}\frac{1}{x}$. Невозможность умножения двух произвольных обобщённых функций. Дифференцирование обобщённых функций: наводящие соображения, определение, примеры. Плотность заряда электрического диполя. Теорема о связи классической и обобщённой производных для кусочно-гладкой функции. Вычисление фундаментального решения трёхмерного оператора Лапласа. Свёртка обобщённых функций: наводящие соображения, определение, свойства, примеры вычисления. Пример, показывающий, что свёртка не ассоциативна. Решение дифференциальных уравнений в пространстве обобщённых функций. Теорема о фундаментальном решении линейного обыкновенного дифференциального оператора. Преобразование Фурье обобщённых функций медленного роста: наводящие соображения, определение, свойства, примеры вычисления.

Литература: основная — 1, 7; дополнительная — 8, 12.

Литература

Учебные и методические пособия, изданные в НГУ, доступны в электронном виде на сайте кафедры `http://www.phys.nsu.ru/ok03/`

1. *Александров В. А.* Обобщённые функции: Учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2005.

2 *Александров В. А.* Преобразование Лапласа. Методические указания. Новосибирск: НГУ, 1992.

3. *Александров В. А.* Преобразование Фурье: Учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2002.

4. *Александров В. А.* Ряды Фурье: Метод. пособие. Новосибирск: НГУ, 1996.

5. *Бельхеева Р. К.* Ряды Фурье в примерах и задачах: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2011.

6. *Бельхеева Р. К.* Преобразование Фурье в примерах и задачах: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2014.

7. *Бельхеева Р. К.* Обобщённые функции в примерах и задачах: Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2014.

8. *Владимиров В. С.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1979.

9. *Зорич В. А.* Математический анализ. М.: Наука, 1984. Т. 2.

10. *Колмогоров А. Н., Фомин С. В.* Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1972.

11. *Фихтенгольц Г. М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Наука, 1970. Т. 3.
12. *Шварц Л.* Математические методы для физических наук. М.: Мир, 1965.

План семинаров

1-й семинар. — Разложение 2π-периодических функций в ряд Фурье. Суммирование числовых рядов с помощью рядов Фурье.

2-й семинар. — Разложение только по синусам или только по косинусам. Симметрии графика 2π-периодической функции и свойства её коэффициентов Фурье.

3-й семинар. — Разложение в ряд Фурье функций с произвольным периодом.

4-й семинар. — Комплексная форма ряда Фурье. Разложение в ряд Фурье функций вида

$$\frac{a \sin x}{1 - 2a \cos x + a^2}, \quad |a| < 1,$$

без вычисления интегралов.

5-й семинар. — Равенство Ляпунова. Суммирование числовых рядов с помощью равенства Ляпунова.

6-й семинар. — Представление функции её интегралом Фурье. Разложение на полупрямой.

7-й семинар.— Преобразование Фурье и его общие свойства: сдвиг по фазе, сдвиг по аргументу, производная от преобразования Фурье и преобразование Фурье от производной. Нахождение преобразования Фурье конкретных функций.

8-й семинар. — Нахождение преобразования Фурье конкретных функций.

9-й семинар. — Свёртка. Формула Пуассона и её применение к суммированию числовых рядов.

10-й семинар. — Оригиналы и изображения, определение преобразования Лапласа. Нахождение преобразования Лапласа конкретных функций и помощью определения. Теоремы подобия и смещения, дифференцирование и интегрирование изображений и оригиналов.

11-й семинар. — Нахождение преобразования Лапласа конкретных функций с помощью теорем подобия и смещения, дифференцирования и интегрирования изображений и оригиналов.

Решение начальных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений.

12-й семинар. — Запаздывание и свёртка оригиналов. Теорема Бореля и формула Дюамеля.

13-й семинар. — Основные и обобщённые функции. Сходимость обобщённых функций.

14-й семинар. — Дифференцирование обобщённых функций. Применение теоремы о фундаментальном решении обыкновенного дифференциального оператора.

15-й семинар. — Умножение обобщённых функций на бесконечно дифференцируемые. Линейная и нелинейная замены переменных в обобщённых функциях. Свёртка обобщённых функций.

16-й семинар. — Обобщённые функции медленного роста и преобразование Фурье от них. Повторный разбор наиболее трудных вопросов из предыдущих семинаров.

Задания по основам функционального анализа

Задание 1 *(сдать до 10 октября)*

Ряды Фурье

1. Нарисуйте график и найдите ряд Фурье следующей функции, предполагая, что она имеет период 2π:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } -\pi/2 < x < \pi/2, \\ 0, & \text{если } \pi/2 < x < 3\pi/2. \end{cases}$$

2. Разложите в ряд Фурье по косинусам функцию, заданную в интервале $0 < x < \pi$ формулой $f(x) = \sin x$. Нарисуйте график суммы полученного ряда Фурье.

3. Как следует продолжить интегрируемую функцию $f : [0, \pi/2] \to \mathbb{R}$ до 2π-периодической функции, чтобы ряд Фурье последней имел вид $\sum\limits_{k=0}^{\infty} b_{2k} \sin 2kx$?

4. Разложите функцию $f(x) = \sin(\pi x/2)$ в ряд Фурье на промежутке $[-1, 1]$.

5. Разложите в ряд Фурье в комплексной форме 2π-периодическую функцию, заданную в интервале $-\pi < x < \pi$ формулой $f(x) = e^{-x}$.

6. Пусть $S(x)$ обозначает сумму ряда Фурье, полученного в предыдущей задаче, вычисленную в точке x. Найдите $S(3\pi)$. Ответ обоснуйте.

7. Представьте функцию $\ln(1 - 2a\cos x + a^2)$ в виде комплексного, а затем в виде вещественного ряда Фурье. Здесь a — вещественный параметр, такой что $|a| < 1$.

8. Напишите равенство Ляпунова для функции $f(x) = \cos\alpha x$, $x \in [-\pi, \pi]$.

9. Пусть кусочно-гладкая функция f непрерывна в промежутке $[0, \pi]$. Докажите, что при выполнении условия

$$\int\limits_0^\pi f(x)\,dx = 0$$

имеет место неравенство

$$\int\limits_0^\pi [f(x)]^2\,dx \leqslant \int\limits_0^\pi [f'(x)]^2\,dx,$$

называемое *неравенством Стеклова*. Объясните почему неравенство Стеклова превращается в равенство лишь для функций вида $f(x) = A\cos x$, где A — произвольное вещественное число.

Задание 2 *(сдать до 20 ноября)*

Преобразование Фурье

10. Докажите формулу

$$\int\limits_0^{+\infty} \frac{\cos(\pi y/2)}{1 - y^2}\cos yx\,dy = \begin{cases} (\pi/2)\cos x, & \text{если } |x| \leqslant \pi/2, \\ 0, & \text{если } |x| > \pi/2. \end{cases}$$

11. Представьте интегралом Фурье функцию

$$f(x) = \begin{cases} x, & \text{если } 0 \leqslant x \leqslant 1, \\ 0, & \text{если } x > 1, \end{cases}$$

продолжив её чётным образом на интервал $(-\infty, 0)$.

12. Представьте интегралом Фурье функцию из предыдущей задачи, продолжив её нечётным образом на интервал $(-\infty, 0)$.

13. Пусть $f : \mathbb{R} \to \mathbb{C}$ и её первая производная непрерывны и абсолютно интегрируемы на $\mathbb{R}$. Докажите, равенство

$$\mathcal{F}_+\left[\frac{df}{dx}(x)\right](y) = (iy)\mathcal{F}_+[f(x)](y),$$

т. е. докажите, что преобразование Фурье переводит (с точностью до числового множителя) операцию дифференцирования в операцию умножения на независимую переменную.
14. Найдите прямое и обратное преобразования Фурье функции

$$f(x) = \begin{cases} x^2, & \text{если } |x| \leqslant 1, \\ 0, & \text{если } |x| > 1. \end{cases}$$

15. Найдите прямое и обратное преобразования Фурье функции

$$f(x) = e^{-x^2/2}e^{iax},$$

где a — произвольное вещественное число.
16. Вычислите свёртку $e^{-|x|} * e^{-|x|}$.
17. С помощью формулы Пуассона докажите следующее соотношение, называемое *θ-формулой* и играющее важную роль в теории эллиптических функций и теории теплопроводности

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-tn^2} = \sqrt{\frac{\pi}{t}} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{\pi^2}{t}n^2}.$$

Здесь t — вещественный положительный параметр.
18. Рассмотрим быстро убывающую функцию $\varphi(x)$ вещественной переменной x и её преобразование Фурье $\psi(p)$, которое, как вы знаете, тоже быстро убывает с ростом модуля p. Будем считать, что функции $\varphi(x)$ и $\psi(p)$ имеют одинаковую L_2-норму; более того, будем считать, что она равна единице, т. е. допустим, что

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(x)|^2\,dx = \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(p)|^2\,dp = 1.$$

В таком случае мы вправе считать функции $|\varphi(x)|^2$ и $|\psi(p)|^2$ плотностями распределения вероятностей случайных величин x и p. В курсе квантовой механики будет показано, что эти случайные величины, в свою очередь, можно интерпретировать, как координату и импульс «одномерной» квантовой частицы.

Интегралы

$$x_0 = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} x\,|\varphi\,(x)|^2\,dx \quad \text{и} \quad p_0 = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} p\,|\psi(p)|^2\,dp$$

имеют смысл средних значений случайных величин x и p при заданных их распределениях, а степень «разброса» этих величин около их средних значений характеризуют их среднеквадратические отклонения — положительные числа $\sigma\,(\varphi)$ и $\sigma\,(\psi)$, определяемые равенствами

$$\sigma^2(\varphi) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} (x - x_0)^2\,|\varphi\,(x)|^2\,dx \quad \text{и} \quad \sigma^2\,(\psi) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} (p - p_0)^2\,|\psi(p)|^2\,dp.$$

Ваша задача — доказать одно из самых красивых и удивительных неравенств, какие можно встретить в математике и которое было открыто физиком:

$$\sigma\,(\varphi)\,\sigma\,(\psi) \geqslant \frac{1}{2}.$$

Это неравенство представляет собой строгое математическое выражение знаменитого принципа неопределённости Гейзенберга, согласно которому нельзя одновременно измерить и координату, и импульс квантовой частицы — уточняя одно, мы непременно теряем информацию о другом.

Доказательство проведите по следующей схеме. Наряду с функциями $\varphi\,(x)$ и $\psi\,(p)$ рассмотрим ещё одну пару функций

$$\Phi\,(x) = e^{-ip_0\,(x + x_0/2)}\,\varphi\,(x + x_0) \quad \text{и} \quad \Psi\,(p) = e^{ix_0\,(p + p_0/2)}\,\psi\,(p + p_0).$$

Иногда говорят, что $\Phi\,(x)$ и $\Psi\,(p)$ получены из $\phi\,(x)$ и $\psi\,(p)$ «сдвигом и нормировкой». Далее действуйте так:

(а) Покажите, что $\Psi\,(p)$ служит преобразованием Фурье функции $\Phi\,(x)$.

(б) Докажите, что новые функции имеют те же L_2-нормы, что и прежние, т. е. докажите, что

$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} |\Phi\,(x)|^2\,dx = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} |\Psi\,(p)|^2\,dp = 1.$$

(в) Докажите, что относительно новых функций средние значения случайных величин x и p равны нулю, т. е. докажите, что

$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} x\,|\Phi\,(x)|^2\,dx = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} p\,|\Psi(p)|^2\,dp = 0.$$

(г) Убедитесь, что произведённые нами «сдвиг и нормировка» распределений случайных величин x и p не меняют их дисперсий, т. е. докажите, что

$$\sigma^2(\varphi) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} x^2|\Phi\,(x)|^2\,dx \quad \text{и} \quad \sigma^2\,(\psi) = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} p^2|\Psi(p)|^2\,dp.$$

(д) Опираясь на равенство Парсеваля, а также на связь, которую преобразование Фурье устанавливает между дифференцированием и умножением на аргумент, докажите, что для каждого вещественного t справедливо равенство

$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} |tx\Phi\,(x) + \Phi'(x)|^2\,dx = t^2\sigma^2(\varphi) - t + \sigma^2\,(\psi).$$

(е) Воспользуйтесь тем, что вещественный квадратный многочлен $t^2\sigma^2(\varphi) - t + \sigma^2\,(\psi)$ неотрицателен.

Задание 3 *(сдать до 30 декабря)*

Преобразование Лапласа

19. Пусть $a > -1$ является вещественным числом. Выясните, является ли функция $f(t) = t^a$ оригиналом. Если является, то найдите её показатель роста.

20. Пользуясь линейностью преобразования Лапласа и теоремой подобия, найдите преобразование Лапласа от функции $f(t) = \cos^2 2t$. Укажите область определения найденного изображения.

21. Дано изображение

$$F(p) = \frac{1}{p^2}\cdot\frac{p-2}{p^2+4}.$$

Используя теорему об интергировании оригинала, найдите соответствующий оригинал $f(t)$.

22. Используя преобразование Лапласа, решите начальную задачу для дифференциального уравнения:

$$y''(t) - 2y'(t) + 5y(t) = 8\sin t - 4\cos t, \quad y(0) = 1, \quad y'(0) = 3.$$

Обобщённые функции

23. Трактуя несобственный интеграл как предел соответствующих собственных интегралов, вычисленный в пространстве обобщённых функций $\mathcal{D}'(\mathbb{R})$, докажите равенство

$$\int\limits_0^{+\infty} \cos(2xy)\,dy = \frac{\pi}{2}\delta(x).$$

24. Найдите все производные от функции $f(x) = x^2 H(x)$, где $H(x)$ — функция Хевисайда.

25. Используя теорему о фундаментальном решении дифференциального оператора, найдите фундаментальное решение оператора

$$\frac{d}{dx} - \cos x.$$

26. Используя операцию свёртки и фундаментальное решение, полученное в предыдущей задаче, найдите частное решение дифференциального уравнения $y'(x) - (\cos x)y(x) = x$.

27. Найдите преобразование Фурье регулярной обобщённой функции медленного роста, заданной формулой $f(x) = \operatorname{sign} x$.

Программу и задания
по «Основам функционального анализа»
составил д.ф.-м.н., профессор В. А. Александров

Правила аттестации студентов по «Основам функционального анализа»

§1. Контроль работы в семестре

(1) В течение семестра студенту настоятельно рекомендуется сдать своему семинаристу в устной форме все 27 задач из приведённых выше заданий.

(2) За каждую задачу, полностью сданную в срок, студент получает 6 баллов. За задачу, сданную (полностью или частично) после установленного срока, студент получает ноль баллов.

(3) В конце семестра семинарист оценивает работу каждого студента из своей группы и добаляет ему от 0 до 50 баллов в зависимости от того, насколько активно студент решал задачи у доски, делал домашние задания, решал контрольные работы и т. п.

(4) Сумма баллов, начисленных студенту в соответствии с пунктами (2) и (3) называется «баллами за работу в семестре». Она сообщается всем студентам до проведения консультации через сайт кафедры `http://www.phys.nsu.ru/ok03/exam.html` и / или `http://www.phys.nsu.ru/aleksandrov/teaching.html` и учитывается при выставлении оценки за экзамен.

(5) Приём задач из задания семинаристами заканчивается с окончанием зачётной сессии, т. е. 30-го декабря 2018 года.

§2. Проведение экзамена

(6) Поскольку по «Основам функционального анализа» не предусмотрен зачёт, то к сдаче экзамена допускаются все студенты (даже те, кто не сдал всех задач из приведённых выше заданий).

(7) Студент может сдавать экзамен только в тот день и только в той аудитории, которые указаны в расписании экзаменов для его группы.

(8) Экзаменационный билет содержат три вопроса. Первый вопрос одинаков во всех билетах и выглядит так: «Сдача задач из заданий». Два других вопроса являются теоретическими вопросами (в частности, они не содержат задач) из программы курса. Список вопросов, выносимых на экзамен, выкладывается на сайт кафедры `http://www.phys.nsu.ru/ok03/exam.html` и / или `http://www.phys.nsu.ru/aleksandrov/teaching.html` до проведения консультации.

(9) Если студент уже сдал все задачи из заданий (что очень рекомендуется), то вытянув билет, он пропускает первый вопрос «Сдача задач из заданий» и получает один час на подготовку к двум оставшимся вопросам билета.

(10) При подготовке к ответу на второй и третий вопросы билета можно пользоваться только собственной головой. Другими словами, при подготовке к ответу на второй и третий вопросы билета запрещается пользоваться какой-либо литературой, конспектами, шпаргалками, мобильными телефонами и подсказками товарищей. Нарушающие это правило будут удалены с экзамена.

(11) Выходить из аудитории до начала ответа на второй и третий вопросы билета нельзя (точнее — выйти можно, а вот снова войти уже нельзя).

(12) Если студент не сдал какие-то из 27 задач из приведённых выше заданий (никому из студентов очень не рекомендуется попадать в эту ситуацию), то, вытянув экзаменационный билет, он должен без подготовки начать отвечать на первый вопрос билета «Сдача задач из заданий». Отвечать он должен не своему семинаристу, а любому другому свободному экзаменатору (который, при удачном ответе на первый вопрос, будет дальше спрашивать второй и третий вопросы билета).

(13) Ответ на первый вопрос не может длиться более 30 минут. При этом студент может (и даже должен) пользоваться своей тетрадью, в которой он решил те из 27 задач из приведённых выше заданий, решения которых он не сумел объяснить своему семинаристу во время семестра. Если за это время студент объяснил экзаменатору решения всех своих долгов по заданиям, то он получает один час на подготовку к двум оставшимся вопросам билета и руководствуется при этом пунктами (10) и (11) настоящих Правил. Если за это время студент не сумел объяснить экзаменатору решения всех своих долгов по заданиям, то экзамен прекращается, студент отправляется на пересдачу, а в экзаменационную ведомость выставляется оценка «неудовлетворительно».

(14) Ответ на второй и третий вопросы билета оценивается по пятибальной системе: «пятёрка» ставится за полный и правильный ответ как на вопрос билета, так и на сопутствующие вопросы преподавателя; «четвёрка» ставится за правильные формулировки всех определений и теорем из данного вопроса билета и объяснение основных идей доказательства (при этом допускается, что доказательсто не доведено до конца); «тройка» ставится за правильные формулировки всех определений и теорем из билета (при этом допускается, что о доказательстве не сказано ничего); «двойка» ставится за незнание хоть одной из теорем или хоть одного из важных (т. е. многократно используемых в курсе) определений.

(15) Если хотя бы за один из вопросов билета получена оценка «двойка», то экзамен прекращается, а студент идёт на пересдачу. Положительные оценки, полученные за ответ на второй и третий вопросы билета, конвертируются в баллы следующим образом: «пятёрка» — 200 баллов; «четвёрка» — 100 баллов, «тройка» — ноль баллов.

(16) Ответив на вопросы билета, студент должен побеседовать с преподавателем на одну из тем, не вошедших в билет. Имеется ввиду выяснить насколько свободно студент владеет изученным материалом. Речь идёт только о формулировках теорем и определениях. В этот момент доказательства теорем уже не спрашивают. По результатам этой беседы никаких оценок не ставится и баллы не начисляются. Но для тех студентов, кто не может поддерживать разговор в таком формате экзамен прекращается, а в ведомость ставится оценка «неудовлетворительно».

(17) В случае необходимости преподаватель может заменить дополнительный вопрос задачей. Например, вместо того, чтобы спросить «что называется рядом Фурье» он может попросить найти ряд Фурье функции, тождественно равной единице, а вместо того, чтобы спросить «что называется преобразованием Фурье обобщённой функции» он может попросить найти преобразование Фурье от дельта-функции. В качестве таких задач, заменяющих дополнительные вопросы, не бывает задач, требующих сложных вычислений или нестандартных подходов.

(18) После того, как студент ответил (не на «двойку») на все вопросы билета и побеседовал с преподавателем на тему, не входящую в билет, все заработанные им баллы суммируются (т.е. складываются баллы за ответы на второй и третий вопросы с баллами за работу в семестре). В ведомость (и зачётку) выставляется общая оценка за осенний семестр по курсу «Основы функционального анализа», определяемая следующим образом: «отлично» — если сумма баллов не меньше 500; «хорошо» — если сумма баллов от 300 до 499; «удовлетворительно» — если сумма баллов от 100 до 299; «неудовлетворительно» — если сумма баллов менее 100.

§3. Проведение пересдачи

(19) Пересдача проводится по тем же правилам и тем же билетам, что и основной экзамен.

(20) На пересдаче долг по задачам из заданий состоит из задач, не сданных в течение семестра и на основном экзамене.

§4. Особые ситуации

(21) При необходимости и наличии уважительной причины семинарист может продлить срок приёма заданий как всей группе (например, если из-за праздников пропало занятие и студенты ещё не решали в классе задачи, аналогичные задачам из задания), так и отдельному студенту (например, в случае его продолжительной болезни или командировки для участия в студенческой олимпиаде). В любом случае продление срока должно быть согласовано с лектором.

(22) Конфликтные и спорные ситуации, возникающие между студентом и семинаристом, урегулирует лектор. Это касается как работы в семестре, так и сдачи экзамена и пересдачи.

Правила аттестации студентов
по «Основам функционального анализа»
составил д.ф.-м.н., профессор В. А. Александров.
Они утверждены на заседании кафедры 7 июня 2018 г.