



Волинський національний університет імені Лесі Українки
Кафедра теорії функцій та методики навчання математики

СИЛАБУС

обов'язкового освітнього компонента

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	01 Освіта / Педагогіка
Спеціальність	014 Середня освіта (Математика)
Освітня програма	Середня освіта. Математика
Форма навчання	Денна
Розробник (викладач)	Харкевич Юрій Іліодорович, кандидат фізико-математичних наук, професор
Контактна інформація	Електронна адреса викладача: kharkevich.juriy@gmail.com Телефон: 099-763-97-54
Семестр, курс	5-6 семестр, III курс
Обсяг освітнього компонента	Загальний обсяг: 7 кредитів / 210 годин. Аудиторних годин: 130; з них: лекцій – 64 год., практичних – 66 год. Самостійної роботи: 66 год.
Форма контролю	Екзамен (5 семестр), екзамен (6 семестр)
Час занять	Тижневих годин: 5 семестр – 3 год; 6 семестр – 4,5 год. Аудиторні заняття проводяться за розкладом: http://94.130.69.82/cgi-bin/timetable.cgi Консультації викладача відповідно затвердженого графіку.
Анотація курсу	«Функціональний аналіз» належить до переліку основних освітніх компонентів, забезпечує професійний розвиток бакалавра математики та спрямована на формування у майбутніх фахівців цілісного розуміння предмету і методів сучасного функціонального аналізу, узагальнення поняття простору, висвітлення теоретичних питань, пов'язаних із топологічними, метричними, банаховими та гільбертовими просторами, дослідженням лінійних обмежених функціоналів та операторів, визначених на вказаних просторах. Методи, ідеї, термінологія, позначення і стиль функціонального аналізу пронизують більшість розділів математики, поєднуючи її в єдине ціле.
Предреквізити	Основи теорії множин, що вивчаються в «Дискретній математиці»; курси «Математичний аналіз I» та «Математичний аналіз II», «Диференціальні рівняння», елементарна математика в обсязі програми загальної середньої школи.
Постреквізити	Результати навчання можуть бути використані при вивченні вибіркових освітніх компонентів по теорії функцій дійсної змінної.

Мета і завдання освітнього компонента	Метою є формування цілісного уявлення про предмет і методи функціонального аналізу; ознайомлення з основними поняттями і задачами загальної теорії неперервних відображень метричних і топологічних просторів; активне оволодіння понятійним апаратом та теоретичними результатами, що стосуються лінійних функціоналів та лінійних операторів у банаховому та гільбертовому просторах; ознайомлення з сучасною проблематикою класичного та прикладного аналізу, формування таких загальних та спеціальних компетентностей: • здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, до застосування знань у практичних ситуаціях (ЗК1); • здатність орієнтуватися в інформаційному просторі, здійснювати пошук, аналіз та обробку інформації з різних джерел, ефективно використовувати цифрові ресурси та технології в освітньому процесі (ЗК4); • здатність перенесення системи наукових знань у професійну діяльність та в площину навчального предмета (ФК1); • здатність до реалізації усіх етапів математичного моделювання явищ, процесів та систем, до здійснення базових перетворень математичних моделей з метою спрощення їхнього аналізу й розв'язання (ПК1); • здатність подавати математичні міркування та висновки з них у формі, придатній для цільової аудиторії, а також аналізувати та обговорювати математичні міркування інших осіб, залучених до розв'язання тієї самої задачі (ПК2); • здатність здійснювати міркування та виокремлювати ланцюжки міркувань у математичних доведеннях на базі аксіоматичного підходу, а також розташовувати їх у логічну послідовність, у тому числі відрізняти основні ідеї від деталей і технічних викладок; здатність конструювати формальні доведення з аксіом та раніше доведених тверджень і відрізняти правдоподібні аргументи від формально бездоганних (ПК3); • здатність до аналізу математичних структур, у тому числі до оцінювання обґрунтованості й ефективності використовуваних математичних підходів (ПК5); • здатність діяти за заданими базовими математичними алгоритмами, здійснювати їх вибір і застосування; набувати поглиблені когнітивні та практичні уміння і навички необхідні для конструювання алгоритмів, описання способів розв'язання математичних задач у вигляді алгоритмічного припису (ПК7).
Результати навчання	Опанування змісту освітнього компонента «Функціональний аналіз» дозволяє отримати наступні програмні результати навчання: • демонструє знання основ фундаментальних і прикладних наук (відповідно до предметної спеціальності), оперує базовими категоріями та поняттями предметної області спеціальності (РН7); • генерує обґрунтовані думки в галузі професійних знань як для фахівців, так і для широкого загалу державною та іноземною мовами (РН8);

	• демонструє володіння сучасними технологіями пошуку наукової інформації для самоосвіти та застосування 13 її у професійній діяльності (РН10); • Пояснює основні етапи історичного розвитку математичних знань і парадигм, описує сучасні тенденції в математиці (ПРН1); • демонструє знання фундаментальної математики на рівні теоретичних основ і застосовує методи алгебри, математичного аналізу, дискретної математики, аналітичної та диференціальної геометрії, топології, функціонального аналізу й теорії диференціальних рівнянь, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії функцій комплексної змінної для досягнення інших результатів освітньої програми (ПРН2); • називає принципи <i>modus ponens</i> (правило виведення логічних висловлювань) та <i>modus tollens</i> (доведення від супротивного) і використовує умови, формулювання, висновки, доведення та наслідки математичних тверджень (ПРН3); • демонструє навички розв'язувати конкретні математичні задачі, які сформульовано у формалізованому вигляді; виконує базові перетворення для специфічних ситуацій, застосовує навички управління інформацією і комп'ютерних засобів статистичного аналізу даних (ПРН4); • називає і описує суть методів математичного моделювання природничих та/або соціальних процесів (ПРН6); • вибирає математичні методи розв'язування задач, враховує умови виконання математичних тверджень, коректно проектує умови та твердження на нові класи об'єктів, аналізує і упорядковує відповідності між поставленою задачею й відомими моделями (ПРН10); <i>До кінця навчання студенти будуть знати:</i> – метричні, повні метричні простори; – стискуючі відображення, принцип вкладених куль; – лінійний нормований простір; – лінійні функціонали та оператори в лінійних нормованих просторах; – теорема Хана-Банаха; – гільбертовий простір, приклади; – нерівність Бесселя та рівність Парсеваля; – теорема Рісса, спектральна теорема; – границі множин, міри множин; – вимірність функції; – інтеграли Рімана та Лебега від функцій на вимірних множинах; – аксіоми топологічної структури, метрики, норми, скалярного добутку; – принцип стискуючих відображень в алгебрі та аналізі; – поняття адитивності, однорідності, лінійності, обмеженості, неперервності операторів та функціоналів;
--	--

	– теорію рядів Фур'є по ортогональних системах елементів. <i>До кінця навчання студенти набудуть таких умінь:</i> – перевіряти аксіоми топологічної структури, метрики, норми, скалярного добутку; – перевіряти множини на замкненість і відкритість в топологічному просторі; – застосовувати принцип стискуючих відображень в алгебрі та аналізі, при розв'язуванні інтегральних рівнянь; – користуватися принципом вкладених куль; – перевіряти оператори та функціонали на адитивність, однорідність, лінійність, обмеженість, неперервність; – досліджувати лінійний оператор на компактність; – ортогоналізувати системи незалежних елементів; – будувати ряди Фур'є по ортогональних системах елементів; – знаходити спектр та резольвенту лінійного обмеженого оператора.
--	--

Структура освітнього компонента

Назви змістових модулів і тем	Усього	Лек.	Практ.	Конс.	Сам. роб.	*Форма контролю/ Бали
Змістовий модуль 1. Метричні простори.						
Тема 1. Поняття метричного простору.	6	2	2	1	1	УО, РЗ
Тема 2. Збіжність. Відкриті і замкнуті множини.	5	2	2		1	УО, РЗ
Тема 3. Повні метричні простори.	7	2	2	1	2	УО, РЗ
Тема 4. Принцип стискуєчих відображень та його застосування.	8	2	2		4	УО, РЗ
Тема 5. Компактність у метричних просторах.	13	4	4	1	4	УО, РЗ
Тема 6. Спряжений простір.	6	2	2		2	УО, РЗ
Разом за модулем 1	45	14	14	3	14	15
Змістовий модуль 2. Нормовані і лінійні простори.						
Тема 7. Лінійні простори.	8	2	2		4	УО, РЗ
Тема 8. Опуклі множини і опуклі функціонали.	9	2	2	1	4	УО, РЗ
Тема 9. Нормовані простори.	13	4	4	1	4	УО, РЗ
Тема 10. Евклідові простори.	15	4	6	1	4	УО, РЗ
Разом за модулем 2	45	12	14	3	16	15
ІНДЗ						10
Модульна контрольна робота 1						30
Модульна контрольна робота 2						30
Всього годин / балів за I семестр	90	26	28	6	30	100
Змістовий модуль 3. Лінійні функціонали і лінійні оператори.						
Тема 11. Неперервні лінійні оператори на нормованих просторах.	6	2	2		2	УО, РЗ
Тема 12. Обернений оператор. Рівномірна та слабка збіжність.	7	2	2	1	2	УО, РЗ
Тема 13. Умови оборотності лінійного оператора	9	2	2	1	4	УО, РЗ
Тема 14. Спектр та резольвента	9	2	2	1	4	УО, РЗ

лінійного оператора						
Тема 15. Компактні оператори і їх власні числа.	13	4	4	1	4	УО, РЗ
Разом за модулем 3	44	12	12	4	16	10
Змістовий модуль 4. Простори сумовних функцій.						
Тема 16. Простір L_1 .	6	2	2		2	УО, РЗ
Тема 17. Простір L_2 .	10	4	4		2	УО, РЗ
Тема 18. Ортогональні системи функцій в L_2 . Ряди по ортогональних системах.	20	6	6	2	6	УО, РЗ
Разом за модулем 4	36	12	12	2	10	10
Змістовий модуль 5. Тригонометричні ряди. Перетворення Фур'є.						
Тема 19. Умови збіжності ряду Фур'є.	10	4	4		2	УО, РЗ
Тема 20. Теорема Фейсра.	6	2	2		2	УО, РЗ
Тема 20. Інтеграл Фур'є.	12	4	4	1	3	УО, РЗ
Тема 20. Перетворення Фур'є.	12	4	4	1	3	
Разом за модулем 5	40	14	14	2	10	10
ІНДЗ						10
Модульна контрольна робота 1						30
Модульна контрольна робота 2						30
Всього годин / балів за II семестр	120	38	38	8	36	100
Всього годин за навчальний рік	210	64	66	14	66	

Форма контролю*: УО – усне опитування, РЗ – розв'язування задач, ІНДЗ – індивідуальне завдання/індивідуальна робота здобувача освіти.

Завдання для самостійного опрацювання

Самостійна робота здобувачів освіти включає:

- Опрацювання лекційного матеріалу – 12 год.

Перевірка здійснюється під час виконання практичних завдань та під час усного опитування.

- Підготовка до практичних занять – 16 год.

Перевірка здійснюється під час практичних занять.

- Вивчення тем, що не розглядаються в курсі лекцій – 12 год.

Перевірка здійснюється під час модульних контрольних заходів і оцінюється відповідною кількістю балів.

- Виконання ІНДЗ – 10 год.

Перевірка здійснюється під час захисту ІНДЗ.

- Систематизація вивченого матеріалу перед екзаменом – 16 год.

Перевірка здійснюється під час екзамену.

Питання для самостійного опрацювання

1. Банахові простори.
2. Фактор-простір.
3. Теорема Банаха-Штейнгауза для простору операторів.
4. Нормальні, ізометричні та унітарні оператори. Приклад неунітарної ізометрії.
5. Теорема Данфорда про відображення спектрів.
6. Слабкі топології.

Оцінювання

Оцінювання знань здійснюється за 100-бальною шкалою. Кожен семестр оцінюється незалежно. Оцінки, виражені у балах за 100-бальною шкалою, переводяться в шкалу європейської кредитно-трансферної системи (ЄКТС) та традиційну національну систему оцінювання (лінгвістичну). Оцінка включає в себе поточний контроль (оцінюється робота на парах, вчасне і якісне виконання домашніх завдань, самостійне розв'язання індивідуальних завдань) та підсумковий модульний контроль (письмові модульні контрольні роботи). Максимальна кількість балів, яку може заробити студент під час поточного оцінювання за семестр – 40 балів. Підсумковий модульний контроль за семестр включає в себе оцінки за всі модульні контрольні роботи. Максимальна кількість балів, яку може заробити студент під час модульного контролю за семестр складає 60 балів. Призери студентської математичної олімпіади можуть отримати додаткові (бонусні) бали за правильне розв'язання задач з функціонального аналізу на олімпіаді (проводиться у грудні або у лютому).

Згідно «Положення про визнання результатів навчання, отриманих у формальній, неформальній та/або інформальній освіті у Волинському національному університеті імені Лесі Українки» від 11 вересня 2020 року (https://vnu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/Polozhennia_%20vyznannia_rezultativ_navchannia_formalnoi.pdf) студенту можуть бути зараховані результати навчання, які отримані у формальній, неформальній та/або інформальній освіті.

У кожному семестрі передбачається виконання індивідуальних завдань. Варіант ІНДЗ включає себе набір задач, що охоплюють одну або кілька близьких тем. ІНДЗ виконуються студентами на основі знань, умінь і навичок, одержаних під час лекційних та практичних занять. Кожен студент виконує два індивідуальні завдання – по одному в кожному семестрі.

Якщо за результатами семестру накопичено не менше 75 балів і студент погоджується із цим результатом, то оцінка за семестр може виставлятися без складання іспиту. В іншому разі студент складає іспит; максимальна кількість балів, яку можна отримати на іспиті – 60 балів. Вони замінюють бали модульного семестрового контролю, поточний семестровий контроль при цьому зберігається. Екзамени проходять у письмовій формі. У кожному екзаменаційному білеті міститься по два теоретичних питання, а також набір задач, вибраних із кожної модульної контрольної роботи відповідного семестру (по 1-2 задачі). Оцінка за семестр у випадку складання іспиту є сумою балів поточного контролю та балів, отриманих під час іспиту.

Критерії поточного оцінювання

При роботі здобувача на практичних заняттях оцінюються: систематичність роботи на практичних заняттях, рівень знань, продемонстрований у відповідях при усному опитуванні, активність при обговоренні питань. За перший та другий змістовні модулі здобувач може отримати максимально 15 балів, за третій, четвертий та п'ятий змістовні модулі – максимально 10 балів. Разом за роботу на практичних заняттях здобувач може отримати максимально 30 балів в кожному семестрі.

До поточного оцінювання відносяться також бали за ІНДЗ. Оцінювання ІНДЗ здійснюється за 10-бальною шкалою. ІНДЗ подається викладачеві, який читає лекційний курс з даної дисципліни, не пізніше, ніж за 2 тижні до екзамену.

10-9 балів ставиться в тому випадку, коли студент правильно розв'язує всі завдання, повністю описує пояснення ходу розв'язання, допускає лише неточності в оформленні чи помилку в обчисленні.

8-7 балів ставиться тоді, коли студент не повністю дослідив поставлені завдання або допустив деякі неточності (допустив помилки в обчисленнях або виконав 80% завдань.)

6-5 балів ставиться в тому випадку, коли студент не повністю розв'язав задачу або допускає помилки при розв'язанні практичних завдань, але виконано правильно не менше 70% від всіх даних йому завдань.

4-3 бали ставиться, коли студент під час розв'язування пропустив суттєві моменти розв'язання або допустив грубі помилки, виконав не менше 30% від загальної кількості запропонованих йому завдань.

2-1 бали ставиться, коли при підготовці ІНДЗ студент під час роботи показав незнання основних методів розв'язання, допустив грубі помилки, виконав менше 30 % від загальної кількості запропонованих йому завдань.

0 балів ставиться, якщо студент не здав ІНДЗ або жодного завдання не виконав правильно.

Критерії оцінювання модульних контрольних робіт

У кожному семестрі заплановано дві модульні контрольні роботи по 30 балів кожна.

27 – 30 балів ставиться, якщо студент правильно розв'язав практичні завдання, вміє пояснити методику розв'язання та зміст застосовуваного понятійного апарату і формул. Вміє аргументувати свої думки.

23 – 26 балів ставиться, якщо студент показує знання методики розв'язання практичних завдань та змісту застосовуваного понятійного апарату і формул. Проте допущені окремі незначні помилки у розв'язанні.

18 – 22 балів ставиться, якщо студент показує знання методики розв'язання практичних завдань та змісту застосовуваного понятійного апарату і формул. Проте допущені помилки у розв'язанні не дають можливості зробити правильні висновки.

11 – 17 балів ставиться, якщо студент частково розв'язав практичні завдання, але не спромігся аргументувати свою відповідь, помилився у використанні понятійного апарату та методики розв'язання задачі.

5 – 10 балів ставиться, якщо студент погано засвоїв основні поняття, не вміє розв'язувати більшість типових задач, допускає суттєві помилки.

0 – 4 балів ставиться, якщо студент неправильно розв'язав практичні завдання, показав незадовільне знання понятійного апарату, або взагалі нічого не відповів.

Перелік питань до екзамену

1 семестр

1. Поняття метричного простору. Означення і основні приклади.
2. Неперервні відображення метричних просторів.
3. Граничні точки. Замикання, Збіжність. Щільні підмножини.
4. Відкриті і замкнуті множини. Відкриті і замкнуті множини на прямій.
5. Означення і основні приклади повних метричних просторів. Теорема про вкладені кулі.
6. Теорема Бера. Доповнення простору.
7. Принцип стискуючих відображень. Найпростіші застосування принципу стискуючих відображень. Теореми існування та єдиності для диференціальних рівнянь.
8. Застосування принципу стискуючих відображень до інтегрування рівнянь.
9. Поняття компактності. Неперервні відображення компактних просторів. Злічення компактності. Перед компактні множини.
10. Означення компактної множини та компакта у метричному просторі. Теорема Хаусдорфа про компактність множини у повному метричному просторі.
11. Критерій компактності в $C[a,b]$. Теорема Арцела.

12. Означення топологічного лінійного простору. Приклади. Лінійна залежність та незалежність елементів лінійного простору.
13. Поняття спряженого простору. Основні приклади.
14. Означення лінійного простору. Приклади лінійних просторів. Лінійна залежність та незалежність елементів лінійного простору. Підпростори. Приклади підпросторів.
15. Фактор-простір. Означення лінійного функціонала. Геометричний зміст лінійного функціонала.
16. Опуклі множини і опуклі тіла. Однорідно-опуклі функціонали. Функціонал Міньковського. Теорема Хана-Банаха.
17. Означення і приклади нормованих просторів. Підпростори нормованих просторів.
18. Простір Евкліда. Унітарні простори. Ортогональність елементів. Ортогональні та ортонормовані системи. Приклади просторів зі скалярним добутком.
19. Процес ортогоналізації Шмідта. Гільбертовий простір. Комплексні евклідові простори.

2 семестр

1. Неперервні лінійні функціонали в топологічних лінійних просторах. Лінійні функціонали на нормованих просторах. Лінійні функціонали в зчисленно-нормованих просторах.
2. Слабка топологія і слабка збіжність в лінійному топологічному просторі. Слабка збіжність в нормованих просторах. Слабка топологія і слабка збіжність у спряженому просторі.
3. Розширення поняття функції. Простір основних функцій. Узагальнені функції. Дії над узагальненими функціями.
4. Означення і приклади лінійних операторів. Неперервні лінійні оператори. Обмежені лінійні оператори.
5. Спряжені оператори. Спряжений оператор в евклідовому просторі. Самоспряжені оператори.
6. Означення і приклади компактних операторів. Основні властивості компактних операторів. Компактні оператори в гільбертовому просторі.
7. Власні значення і власні елементи оператора.
8. Резольвента лінійного оператора. Спектр. Класифікація точок спектра.
9. Означення і основні властивості простору L_1 . Скрізь щільні множини в L_1 .
10. Означення і основні властивості простору L_2 . Випадок нескінченної міри. Скрізь щільні множини в L_2 . Теорема про ізоморфізм.
11. Тригонометрична система. Тригонометричний ряд Фур'є. Ряд Фур'є в комплексній формі.
12. Многочлени Лежандра. Кратні ряди Фур'є.
13. Функція Ерміта. Ортогональні многочлени з дискретною вагою.
14. Достатні умови збіжності ряду Фур'є в точці. Умови рівномірної збіжності ряду Фур'є.
15. Теорема Фейєра. Повнота тригонометричної системи. Теорема Вейєрштрасса.
16. Основна теорема. Інтеграл Фур'є в комплексній формі.
17. Перетворення Фур'є і теорема обернення. Основні властивості перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є і згортка функцій.
18. Застосування перетворення Фур'є до розв'язування рівнянь теплопровідності. Перетворення Фур'є функцій кількох змінних.

Шкала оцінювання знань здобувачів освіти з формою контролю – екзамен

Оцінка в балах	Лінгвістична оцінка	Оцінка за шкалою ECTS	
		оцінка	пояснення
90–100	Відмінно	A	відмінне виконання
82–89	Дуже добре	B	вище середнього рівня
75–81	Добре	C	загалом хороша робота
67–74	Задовільно	D	непогано
60–66	Достатньо	E	виконання відповідає мінімальним критеріям
1–59	Незадовільно	Fx	необхідне перескладання

Вирішення конфліктних ситуацій

Будь-яка конфліктна ситуація, яка виникає в учасників освітнього процесу вирішується згідно «Положення про порядок і процедури вирішення конфліктних ситуацій у ВНУ імені Лесі Українки» (<https://tinyurl.com/4exy339t>).

Політика викладача щодо здобувача освіти

Усі учасники освітнього процесу повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту (<https://vnu.edu.ua/uk/statut-snu-imeni-lesi-ukrayinki>) і Правил внутрішнього розпорядку ВНУ імені Лесі Українки (<https://tinyurl.com/ymvfkvyv>), загальноприйнятих моральних принципів, правил поведінки та корпоративної культури; підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності. Атмосфера на заняттях повинна бути творчою, відкритою до конструктивної критики. Недопустимі запізнення на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття; списування. Відвідування занять є обов'язковим. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування, навчання в рамках програм академічної мобільності) навчання може відбуватися в онлайн формі за погодженням із викладачем.

Політика щодо академічної доброчесності

Кожен студент повинен ознайомитися і слідувати Кодексу академічної доброчесності Волинського національного університету імені Лесі Українки (<https://tinyurl.com/5n7bx466>), дотримуватись етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової діяльності.

Дотримання академічної доброчесності здобувачами передбачає: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилення на джерела інформації у разі запозичень ідей, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право.

Під час оцінювання результатів навчання студенти не користуються забороненими засобами (мобільний телефон, планшет, конспект, навчальна література, інші джерела інформації, в тому числі Інтернет-ресурси), самостійно виконують запропоновані завдання.

Політика щодо дедлайнів та перескладання

Якщо здобувач вищої освіти був відсутній на заняттях з будь-якої причини, він/вона вивчають теоретичний матеріал самостійно використовуючи навчальні посібники, конспекти лекцій, виконують всі завдання для аудиторних занять, всі домашні завдання. Прозвітуватися про виконання завдань можна під час консультацій, одночасно при цьому з'ясувати незрозумілі моменти, задати запитання викладачу.

Перескладання модульних контрольних робіт не допускається. Індивідуальні завдання, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (бали будуть знижені на 10%).

Опитування

По завершенню курсу студентам буде надано анкету-оцінку з метою оцінки якості курсу.

Рекомендована література

Основна література

1. Коренков М.Є., Харкевич Ю.І. Функціональний аналіз (теорія і вправи): навч. посіб. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т імені Лесі Українки, 2017. 247 с.
2. Коренков М.Є., Харкевич Ю.І. Теорія міри та інтеграла (теореми і вправи): навч. посіб. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т імені Лесі Українки, 2013. 172 с.
3. Колмогоров А.Н., Фомін С.В. Елементи теорії функцій і функціонального К.: Вища школа, 1974. 455 с.
4. Березанський Ю.М., Ус Г.Ф., Шефтель В.Г. Функціональний аналіз. Львів, Видавець І. Є. Чижиков, 2014. 560 с
5. Збірник задач з функціонального аналізу. Частина І. Видання друге, виправлене і доповнене. / Укладачі В. Б. Брайман, О. Ю. Константинов, О. Г. Кукуш, Ю. С. Мішура, О. Н. Нестеренко, А. В. Чайковський. К.: 2022.
6. Анікушин А.В., Семенов В.В. Збірник задач з функціонального аналізу. К.: Видавничополіграфічний центр "Київський університет", 2017. 64 с.

Додаткова література

1. Гарасим Я.С., Недашковська А.М., Остудін Б.А. Методи розв'язування типових задач функціонального аналізу: Методичний посібник для студентів. Львів: Простір М, 2015. 72 с.
2. Городній М.Ф., Константинов О.Ю., Нестеренко О.Н., Чайковський А.В. Навчальні завдання до практичних занять з функціонального аналізу. К.: ВПЦ «Київський університет», 2006. 103 с.
3. Kadets V. A Course in Functional Analysis and Measure Theory. Springer, 2018. 553 p
4. Boyd S., Vandenberghe L. Convex Optimization. Cambridge University Press. 2004, 740 p.

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми

Швай О.Л.

Затверджено на засіданні кафедри теорії функцій та методики навчання математики
протокол № 1 від 06 вересня 2023 р.

Завідувач кафедри

Гембарська С.Б.

