

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

Система забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти
сертифікована на відповідність ДСТУ ISO 9001:2015 / ISO 9001:2015

Кафедра вищої та прикладної математики

ЗАТВЕРДЖЕНО

вченою радою

(пост. № 8 від «17» грудня 2020 р.)

Ректор

А. А. Мазаракі



**МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ /
MATHEMATICAL ANALYSIS**

**ПРОГРАМА /
COURSE SUMMARY**

Київ 2020

**Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу КНТЕУ
Заборонено**

Автори: к.ф.-м.н., доцент Денисенко В.І.,
к.ф.-м.н., доцент Діденко Ю.Ф.,
к.ф.-м.н., старший викладач Ружицький І.С.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри вищої та прикладної математики, протокол № 9 від 22.04.2020 р.

Рецензенти:

А.А. Роскладка, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри цифрової економіки та системного аналізу КНТЕУ

С.В. Білоусова, к. ф.-м. н., доцент кафедри вищої та прикладної математики КНТЕУ

**МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ /
MATHEMATICAL ANALYSIS**

**ПРОГРАМА /
COURSE SUMMARY**

ВСТУП

Програма дисципліни "Математичний аналіз" призначена для студентів освітнього ступеня "бакалавр", галузі знань 12 "Інформаційні технології", спеціальності "Системний аналіз", освітньої програми "Інформаційні технології та бізнес-аналітика (Data Science)".

Програму підготовлено відповідно до Стандартів вищої освіти України зі спеціальності 124 "Системний аналіз", Стандарту вищої освіти КНТЕУ та відповідної освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів КНТЕУ.

Дисципліна "Математичний аналіз" спрямована на вивчення студентами основних понять математичного аналізу, диференціального та інтегрального числення, стандартних методів проведення досліджень.

Програма складається з таких розділів:

1. Мета, завдання та предмет дисципліни.
2. Передумови вивчення дисципліни як вибіркової компоненти освітньої програми.
3. Результати вивчення дисципліни.
4. Зміст дисципліни.
5. Список рекомендованих джерел.

1. МЕТА, ЗАВДАННЯ ТА ПРЕДМЕТ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення дисципліни "Математичний аналіз" є оволодіння математичним апаратом, який повинен бути достатнім для постановки та опрацювання математичних моделей у типовому модельному середовищі, пов'язаних з подальшою практичною діяльністю, напрацювання навиків самостійного вивчення наукової літератури, дослідження прикладних проблем з використанням сучасних засобів моделювання.

Завдання вивчення дисципліни:

- формування у студентів розуміння основних положень теорії дійсних чисел;
- встановлення основних властивостей границь послідовностей та функцій і на основі цього вироблення у студентів необхідних навичок відшукування границь функцій та послідовностей;
- вивчення класу неперервних функцій та формування навиків дослідження заданих функцій на неперервність і встановлення характеру і типу точок розриву;
- формування у студентів уявлення про алгоритм, знаходження похідних і основних правил диференціювання, використання похідних для побудови та дослідження моделей різних задач математики та економіки.
- встановлення основних властивостей визначених та невизначених інтегралів і на основі цього вироблення у студентів необхідних навичок знаходження визначених та невизначених інтегралів.
- формування у студентів навичок дослідження основних властивостей функціональних рядів та функціональних послідовностей, розкладів функцій у

степеневі ряди;

- закріплення базових навичок моделювання математичних об'єктів в середовищі Mathcad, вивчених в процесі опанування даної дисципліни.

Предметом вивчення дисципліни "Математичний аналіз" є основні методи та моделі математичного аналізу (диференціального та інтегрального числення), а також засоби їх представлення у модельному середовищі автоматизованої системи математичного проектування Mathcad. Програма охоплює наступні розділи: теорія дійсних чисел, теорія множин, границь послідовностей та функцій, диференціальне та інтегральне числення функцій однієї та декількох змінних, ряди.

2. ПЕРЕДУМОВИ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Знання та вміння, набуті протягом вивчення шкільного предмету "Математика".

3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна "Математичний аналіз", як обов'язкова компонента, забезпечує оволодіння студентами загальними та фаховими компетентностями і досягнення ними програмних результатів навчання за відповідними освітньо-професійними програмами:

"Інформаційні технології та бізнес-аналітика (Data Science)" (ОС бакалавр)

Номер в освітній програмі	Зміст компетентності	Номер теми, що розкриває зміст компетентності
<i>Загальні компетентності за освітньою програмою</i>		
K01	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу	2-14
K07	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел	2-14
<i>Фахові компетентності за освітньою програмою</i>		
K18	Здатність формалізувати проблеми, описані природною мовою, у тому числі за допомогою математичних методів, застосовувати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів	3-5, 11-14
K19	Здатність будувати математично коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів	3-6, 11-12
K25	Здатність представляти математичні	3-7, 11-14

	аргументи і висновки з них з ясністю і точністю і в таких формах, які підходять для аудиторії як усно так і в письмовій формі	
<i>Програмні результати навчання за освітньою програмою</i>		
ПР01	Знати і вміти застосовувати на практиці диференціальне та інтегральне числення, ряди та інтеграл Фур'є, аналітичну геометрію, лінійну алгебру та векторний аналіз, функціональний аналіз та дискретну математику в обсязі, необхідному для вирішення типових завдань системного аналізу	2-14
ПР04	Знати та вміти застосовувати базові методи якісного аналізу та інтегрування звичайних диференціальних рівнянь і систем, диференціальних рівнянь в частинних похідних, в тому числі рівнянь математичної фізики	5, 11-12
ПР05	Знати основні положення теорії метричних просторів, лебегівської теорії міри та інтеграла, теорії обмежених лінійних операторів в банахових та гільбертових просторах, застосовувати техніку і методи функціонального аналізу для розв'язання задач керування складними процесами в умовах невизначеності	2-14
ПР18	Володіти достатніми знаннями математичних моделей і методів аналітики даних, мов моделювання та програмних засобів для виконання практичних завдань бізнес-аналізу	1-14

4. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Вступ до математичного аналізу.

Роль та місце дисципліни "Математичний аналіз" у системі природничих наук. Об'єкт, метод, поняття та розділи математичного аналізу. Роль та місце дисципліни у системі природничих наук. Математичний апарат та математичне моделювання. Логічні символи. Об'єкти досліджень математичного аналізу. Основні задачі математичного аналізу. Характеристика модельного середовища Mathcad. Основні елементи теорії множин. Рівність множин та підмножини. Операції над множинами. Взаємно однозначна відповідність між множинами. Еквівалентні та зчислені множини. Узагальнення операцій над множинами. Множини натуральних та цілих чисел. Раціональні та ірраціональні числа. Аксиоматичний метод побудови дійсних чисел. Властивості дійсних чисел.

Комплексні числа як розширення множини дійсних. Основні форми представлення комплексних чисел та дії над ними Приклади задач щодо визначення рівня навчальної групи.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2

Додатковий: 11, 13, 17, 18

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 2. Границя послідовності

Основні поняття (поняття множини, дійсні числа, обмежені множини, числові проміжки, окіл точки). Операції над множинами. Поняття границі послідовності. Точні межі числових множин та їх характерні властивості. Границя числової послідовності. Границя функції в точці. Односторонні границі. Границя функції для $x \rightarrow \infty$. Нескінченно великі і нескінченно малі функції. Означення і основні теореми. Основні теореми про границі. Збіжні послідовності та їхні властивості. Число e та обчислення границь, пов'язаних з ним. Використання арифметичної і геометричної прогресій та числа e в фінансовій математиці. Послідовність чисел Фібоначі та їх використання, в тому числі і в інформаційних технологіях (індивідуальний пошук інформації з використанням інтернет ресурсів). Існування точних меж числових множин. Нескінченно малі послідовності та їх зв'язок із нескінченно великими та збіжними послідовностями. Леми про нескінченно малі послідовності. Арифметичні дії над збіжними послідовностями. Границі та нерівності. Теорема про границю проміжної послідовності. Теорема Вейєрштрасса про границю монотонної послідовності. Лема про вкладені відрізки. Часткові границі. Лема Больцано-Вейєрштрасса (одновимірний простір). Верхня та нижня границі послідовності. Критерій Коші.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 2, 4

Додатковий: 8, 13, 15, 18

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 3. Функції та їх границі.

Функція - основний об'єкт математичного аналізу. Поняття функції та способи її задання. Гранична точка множини та її характеристика. Різні означення границі функції та їх еквівалентність. Односторонні границі. Арифметичні дії над функціями, що мають скінченні границі. Складна та обернена функції. Модуль дійсного числа та його властивості. Основні елементарні функції та їх графіки.

Поняття границі функції. Основні теореми про границі функцій. П'ять важливих границь. Критерій Коші існування скінченної границі у функції. Нескінченно малі функції та їх властивості. Нескінченно великі функції та їх

властивості. Порівняння нескінченно малих. Еквівалентні нескінченно малі функції та їх застосування.

Різні означення неперервності функцій. Точки розриву та їх класифікація. Арифметичні дії над неперервними функціями. Властивості функцій, неперервних на відрізку. Неперервність монотонної функції. Неперервність елементарних функцій. Теореми про неперервність складеної та оберненої функцій.

Основні теореми про неперервні функції (теореми Больцано-Коші та Вейерштрасса). Рівномірна неперервність функції. Теорема Кантора. Еквівалентність означень неперервності функції. Неперервність функції в точці, на інтервалі і на відрізку. Арифметичні операції над неперервними функціями. Економічна інтерпретація неперервності. Деякі функціональні залежності, що використовуються в економіці. Поняття про виробничі функції. Прості і складні відсотки. Неперервне нарахування відсотків.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 4

Додатковий: 10, 11, 12, 13, 15

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 4. Неперервні функції.

Означення неперервності функції в точці. Неперервність функції на числовій множині. Приріст функції та неперервність. Локальні властивості неперервних функцій. Точки розриву першого та другого роду. Неперервність та розриви монотонних функцій. Проміжні значення неперервної функції. Обмеженість неперервної функції на відрізку. Неперервність складної та оберненої функції. Неперервність елементарних функцій. Перша та друга важливі границя та приклади її застосування. Застосування теорії границь до дослідження функцій. Основні елементарні функції. Монотонні, періодичні, парні та непарні функції. Раціональні, трансцендентні функції. Графіки функцій. Математичні функції в табличному процесорі MS Excel. Порівняння функцій в околі заданої точки. Символи O “велике” і o “мале”. Еквівалентні функції. Знаходження границь функцій в Mathcad. Приклади порівняння нескінченно малих функцій. Порівняння нескінченно великих функцій. Найважливіші еквівалентності, які використовуються для обчислення границь. Застосування еквівалентних нескінченно малих функцій до обчислення границь. Знаходження неvertикальних асимптот графіка функції. Знаходження вертикальних асимптот.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 2

Додатковий: 12, 13, 15

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 5. Диференціальне числення функцій однієї змінної

Означення похідної. Геометрична інтерпретація похідної. Дотична до графіка функції. Задачі, що приводять до поняття похідної. Означення похідної, її фізичний та геометричний зміст. Означення диференційованості функції. Диференційованість та неперервність. Означення диференціала функції, його фізичний та геометричний зміст. Таблиця похідних. Зв'язок з неперервністю. Правила диференціювання. Похідна складеної та оберненої функції. Диференціал функції та його властивості. Логарифмічна похідна. Диференціювання показниково-степеневої функції. Диференціювання неявних функцій. Диференціювання функцій, заданих параметрично. Похідні вищих порядків. Фізичний зміст другої похідної. Похідні вищих порядків від суми та добутку функцій. Похідні та диференціали вищих порядків. Формула Лейбніца.

Теореми Ферма, Ролля, Лагранжа, Коші. Розкриття невизначеностей. Правило Лопітала. Формула Тейлора для многочлена. Формула Тейлора для довільної функції. Формули Маклорена деяких елементарних функцій. Розклади основних елементарних функцій.

Умови монотонності та постійності функцій. Локальні екстремуми. Необхідні та достатні умови. Інтервали опуклості функцій і точки перегину. Асимптоти. Основні характеристики функції (обмеженість і необмеженість, парність і непарність, зростання та спадання, монотонність). Загальна схема дослідження функцій і побудови графіків функцій.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 4

Додатковий: 8, 11, 14

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 6. Числові ряди та ознаки їх збіжності.

Означення ряду та його суми. Числовий ряд. Сума ряду. Збіжні та розбіжні ряди. Обмежені ряди. Ряд геометричної прогресії. Необхідна умова збіжності ряду. Гармонічний ряд. Ряди з додатними членами. Достатні ознаки збіжності додатних рядів: ознака порівняння рядів, ознака Даламбера, радикальна ознака Коші, інтегральна ознака Коші. Знакозмінні ряди. Абсолютна та умовна збіжність знакозмінних рядів. Знакопереміжні ряди. Ознака Лейбніца. Абсолютно збіжні ряди та умовно збіжні ряди. Властивості збіжних рядів.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 4

Додатковий: 9, 18

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 7. Функціональні послідовності та ряди.

Рівномірна збіжність функціональних послідовностей і рядів. Критерій Коші. Ознаки Вейерштрасса, Діріхле та Абеля рівномірної збіжності функціональних рядів. Функціональні властивості суми функціонального ряду та граничної функції функціональної послідовності (неперервність, диференціювання та інтегрування).

Степеневі ряди та їх області збіжності. Функціональні властивості степеневих рядів. Розклад функцій у степеневі ряди.

Формули Ейлера-Фур'є. Частинні суми ряду Фур'є. Інтеграл Діріхле. Лема Рімана-Лебега. Принцип локалізації. Достатні умови розкладу функцій у ряди Фур'є. Розклад функцій у ряди Фур'є на довільному проміжку. Розклад в ряд Фур'є лише за синусами або лише за косинусами.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 5

Додатковий: 9, 18

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 8. Невизначений інтеграл.

Поняття та властивості невизначеного інтеграла. Первісна та невизначений інтеграл. Таблиця основних невизначених інтегралів. Обчислення інтегралів методом внесення під знак диференціала або метод безпосереднього інтегрування. Заміна змінної та інтегрування частинами у невизначеному інтегралі. Основні поняття про дробово-раціональні функції. Інтегрування раціональних функцій. Інтегрування ірраціональних функцій. Інтегрування виразів, що містять тригонометричні функції. Інтеграли від трансцендентних функцій, які обчислюються за допомогою інтегрування частинами.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 4

Додатковий: 7, 8, 9, 11, 14

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 9. Визначений інтеграл.

Означення визначеного інтеграла. Геометричний зміст визначеного інтеграла. Необхідна умова інтегровності. Суми Дарбу та їх властивості. Критерій інтегровності. Класи інтегровних функцій. Основні властивості визначеного інтеграла. Теорема про середнє. Властивості інтеграла зі змінною верхньою межею. Формула Ньютона-Лейбніца. Заміна змінних та інтегрування частинами у визначеному інтегралі. Наближене обчислення визначених інтегралів. Метод інтегрування частинами. Формули прямокутника і трапеції. Формула Сімпсона.

Застосування визначеного інтеграла. Застосування до обчислення довжини кривої. Застосування визначеного інтеграла до обчислення площ та об'ємів. Приклади моделей із застосуванням інтегралів. Поняття про невласні інтеграли. Застосування визначеного інтеграла в задачах економіки. Знаходження загальних та середніх величин за відомими маргінальними величинами. Знаходження обсягу виробленої продукції. Надлишок (додатковий вигащ) споживача. Аналіз нерівномірності у розподілі доходів серед населення за допомогою кривої Лоренца. Застосування інтегралів у фінансових розрахунках.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 4

Додатковий: 7, 9, 16

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 10. Невласні інтеграли

Означення невласних інтегралів з нескінченними границями.

Формули інтегрування та ознаки збіжності для невласних інтегралів з нескінченними границями. Означення невласних інтегралів з необмеженими функціями. Формули інтегрування та ознаки збіжності для невласних інтегралів з необмеженими функціями.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 4

Додатковий: 16

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 11. Диференціальні рівняння

Диференціальні рівняння. Поняття про диференціальне рівняння та його розв'язки. Диференціальні рівняння першого порядку. Задача Коші. Диференціальні рівняння з відокремлюваними змінними.

Однородні диференціальні рівняння. Диференціальні рівняння в повних диференціалах. Лінійні диференціальні рівняння першого порядку. Рівняння Бернуллі.

Лінійні диференціальні рівняння вищих порядків. Диференціальні рівняння, що допускають пониження порядку.

Лінійні однорідні диференціальні рівняння другого порядку зі сталими коефіцієнтами. Лінійні неоднорідні диференціальні рівняння другого порядку зі сталими коефіцієнтами. Використання диференціальних рівнянь у задачах. Модель Еванса встановлення рівноважної ціни. Модель росту (зростання для постійного темпу приросту). Модель росту в умовах конкуренції. Динамічна модель Кейнса. Неокласична модель росту. Модель ринку з прогнозованими цінами. Поняття про різнищеві рівняння. Модель Самуельсона-Хікса.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 3

Додатковий: 7, 8, 14, 19

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 12. Диференціальне числення функції декількох змінних

Означення n -вимірною евклідового простору R_n . Точкові множини у просторі R_n . Границя послідовності точок простору R_n . Функції двох змінних. Графік функції двох змінних. Лінії рівня функції двох змінних. Функції трьох та більшого числа змінних. Поверхні рівня. Функції n змінних. Означення границі функції кількох змінних. Властивості границі кількох змінних. Неперервні функції кількох змінних. Неперервність функції по окремих змінних. Повторні границі. Функції, неперервні у замкнених обмежених областях.

Частинні похідні. Геометричний зміст частинних похідних функції $z = f(x, y)$. Поняття диференційованості функції і повного диференціала. Необхідні та достатні умови диференційованості функції кількох. Диференціювання складної функції. Диференціали складних функцій. Частинні похідні та диференціали вищих порядків. Формула Тейлора для функції двох змінних.

Похідна в даному напрямі. Достатня умова існування похідної у напрямі. Градієнт функції. Необхідні умови екстремуму функції двох змінних. Достатні умови існування екстремуму двох змінних. Найбільше та найменше значення функції двох змінних. Умовний екстремум функції двох змінних.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 2, 5

Додатковий: 6, 15

Інтернет-ресурси: 21, 22

Тема 13. Кратні інтеграли та їх застосування

Означення подвійного інтеграла по прямокутнику та його властивості. Достатня умова інтегрованості. Подвійний інтеграл як повторний. Подвійний інтеграл по області та його властивості.

Подвійний інтеграл по області як повторний. Подвійний інтеграл в полярних координатах. Застосування та обчислення подвійних інтегралів. Означення потрійного інтеграла. Обчислення потрійних інтегралів в декартових, циліндричних та сферичних координатах. Застосування потрійних інтегралів.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1, 2, 5

Додатковий: 6, 16

Тема 14. Криволінійні та поверхневі інтеграли

Поняття дуги кривої. Означення криволінійного інтеграла першого роду. Геометричний зміст криволінійного інтеграла першого роду. Властивості криволінійних інтегралів першого роду. Зведення криволінійного інтегралу першого роду до визначеного інтегралу.

Задача про обчислення роботи, яку виконує змінна сила. Означення криволінійних інтегралів другого роду. Властивості криволінійних інтегралів другого роду. Приклади обчислення криволінійних інтегралів другого роду. Теорема (формула) Гріна. Наслідки теореми Гріна та приклади її застосування. Умова незалежності криволінійних інтегралів другого роду від лінії інтегрування. Інтегрування повних диференціалів. Формула Ньютона-Лейбниці для криволінійних інтегралів. Знаходження функції $u = u(x, y)$ за її повним диференціалом. Застосування криволінійних інтегралів другого роду.

Список рекомендованих джерел:

Основний: 1,5

Додатковий: 6, 16, 20

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основний

1. Заболоцький М. В., Сторож О. Г., Тарасюк С. І. Математичний аналіз: підручник. – К.: Знання, 2008. – 421 с.

2. Рудавський Ю.К., Костробій П.П., Лібацький Л.Л. та ін. Математичний аналіз: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Ч.1. Л.: Національний ун-т "Львів. політехніка", 2003. – 403 с.

3. Щетініна О.К. Вища та прикладна математика в економічних прикладах та задачах. Практикум, ч.1.: навчальний посібник/ О.К. Щетініна, Т.В. Ковальчук та ін. - К.: КНТЕУ, 2017 – 244 с.

4. Шкіль М.І. Математичний аналіз: підручник: У 2 ч. Ч.1 - К.: Вища школа, 2005. – 446 с.

5. Шкіль М.І. Математичний аналіз: підручник: У 2 ч. Ч.2 - К.: Вища школа, 2005. – 510 с.

Додаткові

1. Алексєєва І.В., Гайдей В.О., Диховичний О.О., Федорова Л.Б. Диференціальне та інтегральне числення функцій кількох змінних. Диференціальні рівняння. Практикум. - К: НТУУ "КПІ", 2016. - 188 с.

2. Герасимчук В.С., Васильченко Г.С., Кравцов В.І. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах. Невизначений, визначений та невласні

інтеграли. Звичайні диференціальні рівняння. Прикладні задачі. Навчальний посібник - К.: Книги України ЛТД, 2010. - 470 с.

3. Грисенко М.В. Математика для економістів: Методи й моделі, приклади й задачі: Навчальний посібник. – Київ.: Либідь, 2007. – 720 с.

4. Денисьєвський О.О. Курченко, В.Н. Нагорний, О.Н. Нестеренко, Т.О. Петрова, А.В. Чайковський Збірник задач з математичного аналізу. Частина I. Функції однієї змінної / – К.: ВПЦ "Київський університет", 2005.– 257 с.

5. Дрогомирецька Х.Т., Каленюк П.І., Клапчук М.І., Понеділок Г.В. Математичний аналіз функцій однієї дійсної змінної / – Львів : Вид-во НУ"ЛП", 2016. – 589 с.

6. Ковальчук Т.В. Вища математика для економістів: підручник /Т.В. Ковальчук, В.С. Мартиненко. – К.: КНТЕУ.–Ч.1, 2005. – 395с.

7. Кривошея С.А., Майко Н.В., Моторна О.В., Проценко Т.М. Математичний аналіз: завдання для самостійної роботи студентів : навч.-метод. посіб. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013. – Ч. 1. – 323 с.

8. Курченко О.О. Диференціальне числення функції однієї змінної: підручник. –К., 2014. 238 с.

9. Математика для економістів. Збірник задач: навчальний. посібник / Білоусова С.В., Борисейко В.О., Гладка Ю.А. та інші. – К.: КНТЕУ, 2015. – 504 с.

10. Михайленко В.В. Вища математика. Книга 2. Диференціальне числення функцій однієї та кількох змінних: навчальний посібник / Михайленко В.В., Добряков Л.Д., Головня Р.М. –Житомир: ЖДТУ, 2012. – 576с.

11. Сенчук Ю.Ф. Математичний аналіз для інженерів: - Навчальний посібник – Ч.1 – Харків: НТУ "ХП", 2003 – 408с.

12. Херхагер М., Партоль М. Mathcad 2000 полное руководство. "Ирина", ВНУ, Киев – 414с.

13. Radozycki T. Solving Problems in Mathematical Analysis, Part I. Springer Nature Switzerland AG 2020 p.367.

14. Radozycki T. Solving Problems in Mathematical Analysis, Part II. Springer Nature Switzerland AG 2020 p.381.

15. Radozycki T. Solving Problems in Mathematical Analysis, Part III. Springer Nature Switzerland AG 2020 p.375.

Інтернет-ресурси

1. <http://matan.kpi.ua> дистанційні курси
2. www.mathwords.com

**Примітка. Курсивом позначені джерела, наявні в бібліотеці КНТЕУ*