


Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Затверджено
на засіданні приймальної комісії
Львівського національного університету
імені Івана Франка
19.04.2024 р. (протокол № 3)

Ректор  Володимир МЕЛЬНИК

ПРОГРАМА

фахового вступного випробування
для здобуття освітнього ступеня магістра

Спеціальність – 113 «Прикладна математика»
Освітні програми – «Прикладна математика (освітньо-наукова)»,
«Прикладна математика»

Львів 2024

**Програма вступних фахових випробувань для вступників на навчання для здобуття ОР магістра
на факультет прикладної математики та інформатики
Спеціальність: 113 Прикладна математика**

Вступні випробування проводяться на основі екзаменаційних питань навчальних програм дисциплін циклу професійної та практичної підготовки навчального плану спеціальності 113 "Прикладна математика".

Фахове випробування – форма вступного випробування для вступу на основі здобутого (або такого, що здобувається) ступеня або освітньо-кваліфікаційного рівня вищої освіти, яка передбачає перевірку здатності до опанування освітньої програми певного рівня вищої освіти на основі здобутих раніше компетентностей.

Спеціальність магістр (на основі Бакалавра)

Галузь: Математика та статистика,

Спеціальність: 113 Прикладна математика, факультет прикладної математики та інформатики,

Освітня програма: Прикладна математика
пропозиції Фіксована (вт.ч. для іноземців)

Зарахування на 1 курс Підстави зарахування: наявність вищої освіти першого (бакалаврського) рівня підтвердженого відповідним дипломом та складання іспитів

Конкурсний бал розраховується відповідно до алгоритму розрахунку при вступі на освітній рівень магістра. Конкурсний бал розраховується:

$$\text{Конкурсний бал (КБ)} = 0,2 \text{ П1} + 0,2 \text{ П2} + 0,6 \text{ П3}$$

де

П1 – оцінка тесту загальної навчальні компетентності ЄВІ;

П2 – оцінка тесту з іноземні мови ЄВІ;

П3 – оцінка фахового іспиту.

Оцінка вступного іспиту для іноземців є єдиною складовою конкурсного бала для цієї категорії вступників».

База тестів фахового вступного випробування спеціальності 113 Прикладна математика на освітній рівень «Магістр» складає структуру з таких дисциплін:

Математичний аналіз –	2
Алгебра та геометрія –	2
Бази даних та інформаційні системи –	2
Архітектура обчислювальних систем –	2
Дискретна математика –	2
Теорія ймовірності та математична статистика –	2
Дослідження операцій –	2
Програмування –	4
Методи оптимізації –	1
Чисельні методи лінійної алгебри –	2
Чисельні методи математичної фізики –	2
Чисельні методи –	2

Працівники Приймальної комісії Університету формують індивідуальні набори тестів за кількістю вступників у день фахових випробувань.

Тести мають форму бланкового опитування. Абитурієнт має вказати правильну відповідь серед наведених тверджень. Кожна правильна відповідь оцінюється у 4 умовні бали (загалом

max = 100), що є оцінкою (від 100 до 200) результату фахових випробувань.

Академічна доброчесність при складанні іспиту: очікується, що вступники під час процедури фахових випробувань будуть представляти їхні знання та міркування. Списування, втручання в роботу інших вступників, отримання додаткової інформації за допомогою гаджетів тощо становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності під час процедури фахових випробувань є підставою для незарахування результатів приймальною комісією, незалежно від масштабів списування чи обману в будь-якій формі.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

АЛГЕБРА ТА ГЕОМЕТРІЯ

1. Властивості матриць. Знаходження добутку матриць. Обчислення значення матричного многочлена.
2. Матричні рівняння. Розв'язок лінійного матричного рівняння.
3. Системи лінійних рівнянь. Метод Гауса.
4. Лінійні оператори. Матриця лінійного оператора. Обчислення власних значень лінійного оператора.

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ

1. Теорія множин. Точна верхня та нижня межі множини. Числові послідовності та підпослідовності. Границя числової послідовності. Часткові границі послідовності. Верхня та нижня границі послідовності.
2. Функція однієї дійсної змінної. Границя функції в точці. Неперервність. Похідна функції (заданої явно, неявно, параметрично, оберненої функції). Похідні вищих порядків.
3. Екстремум функції однієї дійсної змінної.
4. Невизначений та визначений інтеграл. Геометричні застосування визначеного інтеграла (площа криволінійної трапеції та криволінійного сектора, довжина дуги кривої). Невластивий інтеграл. Збіжність невластивого інтеграла.
5. Числовий ряд. Збіжність числового ряду (з невід'ємними членами, знакозмінного). Степеневі ряди. Радіус, інтервал та множина збіжності степеневого ряду.
6. Функції багатьох змінних. Подвійна границя функції двох дійсних змінних. Екстремум функції багатьох змінних. Умовний екстремум функції багатьох змінних.

ТЕОРІЯ ІМОВІРНОСТІ ТА МАТЕМАТИЧНА СТАТИСТИКА

1. Ймовірності випадкових подій
2. Послідовності незалежних випробувань
3. Випадкові величини
4. Числові характеристики випадкових змінних
5. Закон великих чисел
6. Характеристичні функції випадкових змінних
7. Ланцюг Маркова
8. Стохастичні процеси
9. Основні поняття математичної статистики
10. Ймовірнісна основа статистичних висновків
11. Оцінювання невідомих параметрів розподілів генеральних сукупностей
12. Критерії, основані на порівнянні ймовірностей і відносних частот
13. Критерій погодженості
14. Варіансний аналіз
15. Кореляційний і регресійний аналізи

ДИСКРЕТНА МАТЕМАТИКА

1. **Основи (логіка і методи доведення теорем, множини).** Логіка висловлювань. Виконувана, загальнозначуща (тавтологія) та заперечувана формули. Закони логіки висловлювань. Нормальні форми логіки висловлювань (диз'юнктивні та кон'юнктивні). Доведення теорем. Логіка першого ступеня. Закони логіки першого ступеня. Логічне виведення в логіці висловлювань. Застосування правил виведення в логіці висловлювань. Метод резолюцій. Множина. Діаграми Венна. Кортж. Декартів добуток. Операції над множинами. Закони, яким задовольняють теоретико-множинні операції. Доведення рівностей із множинами. Операції над бітовими рядками. Комп'ютерне подання множин.
2. **Комбінаторний аналіз.** Основні правила комбінаторики. Розміщення та сполучення (без повторень і з повтореннями). Перестановки. Біноміальна і поліноміальна теореми. Розбиття n -елементної множини. Числа Стірлінга другого роду і числа Белла. Рекурентні

- рівняння та їх розв'язування. Принцип коробок Діріхле. Принцип включення-виключення.
3. **Теорія графів.** Означення різних типів графів та головні теореми про властивості графів. Спеціальні класи простих графів. Ізоморфізм графів. Матриця інцидентності. Матриця суміжності. Подання графа списком ребер і списками суміжності. Шляхи та цикли. Зв'язність. Числові характеристики зв'язності. Критерій дводольності графа (теорема Кеніга). Ейлерів цикл у графі, критерій ейлерового циклу. Гамільтонів цикл, достатня умова гамільтонового циклу (теорема Дірака). Зважені графи. Задача пошуку найкоротших шляхів, алгоритм Дейкстри. Планарні графи. Розфарбування графів. Незалежні множини вершин. Кліки. Паросполучення в дводольних графах, теорема Голла.
 4. **Дерева та їх застосування.** Основні означення та властивості дерев. Коренеve дерево, *m*-арне дерево. Рекурсія. Обхід дерев. Польський та зворотний польський записи виразів. Бінарне дерево пошуку. Дерево рішень. Бектрекінг (пошук із поверненнями). Каркаси. Задача про мінімальний каркас, алгоритм Краскала.
 5. **Відношення.** Відношення та їх властивості. Відношення еквівалентності. Відношення часткового порядку. Топологічне сортування. Операції над відношеннями. Замикання відношень. Алгоритм Уоршалла.
 6. **Основи теорії кодів.** Алфавітне й рівномірне кодування. Достатні умови однозначності декодування (властивість префікса). Властивості роздільних кодів (нерівність Мак-Міллана). Оптимальне кодування. Алгоритм Фано. Алгоритм Гаффмана. Коди, стійкі до перешкод. Коди Геммінга.
 7. **Булеві функції.** Означення булевої функції. Способи подання булевих функцій. Алгебри булевих функцій. Кон'юнктивні й диз'юнктивні нормальні форми. Поліном Жегалкіна. Повнота системи булевих функцій. Основні замкнені класи. Критерій повноти. Мінімізація булевих функцій.
 8. **Моделювання обчислень (формальні мови, породжувальні граматики, автомати).** Поняття формальної мови. Породжувальні граматики, їх класифікація за Хомські. Дерева виведення. Скінченні автомати з виходом. Скінченні автомати без виходу. Подання мов.
 9. **Основи теорії алгоритмів.** Основні вимоги до алгоритмів. Машина Тьюрінга. Функції, обчислювані за Тьюрінгом. Теза Тьюрінга.

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ

1. Інтерполювання функції алгебраїчними многочленами.
2. Інтерполяційні сплайни.
3. Елемент найкращого наближення в нормованому просторі. Середньо-квадратичне наближення. Розв'язування перевизначених систем лінійних рівнянь.
4. Чисельне диференціювання.
5. Квадратурні формули Ньютона-Котеса.
6. Квадратурні формули Гаусса.
7. Розвинення Ейлера-Маклорена. Чисельні інтегрування періодичних функцій.
8. Методи Ньютона і простої ітерації для наближеного розв'язування нелінійних рівнянь.
9. Однокрокові методи розв'язування задачі Коші.
10. Багатокрокові методи розв'язування задачі Коші.
11. Метод стрільби для наближеного розв'язування крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь.

ЧИСЛОВІ МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

1. Абстрактна варіаційна задача, теорема Лакса-Мільграма-Вишика.
2. Крайова задач для рівняння Пуассона та її варіаційне формулювання.
3. Метод Гальоркіна.
4. Простори апроксимацій методу скінченних елементів (МСЕ).
5. Схема МСЕ та їх збіжність.

6. Проекційно-сіткові схеми для початково-крайових задач з параболічним рівнянням
7. Проекційно-сіткові схеми для початково-крайових задач з гіперболічним рівнянням. Апроксимація на скінченних елементах.

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ЛІНІЙНОЇ АЛГЕБРИ

1. Метод Гауса для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.
2. Метод Холецького (LU розклад) для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.
3. Метод простої ітерації та метод Зейделя для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь та теореми про збіжність.
4. Перетворення Хаусхолдера.
5. Зведення узагальненої повної проблеми на власні значення до класичної повної проблеми з симетричною матрицею.
6. Застосування перетворення Хаусхолдера для приведення симетричної матриці до тридіагонального вигляду.
7. Теореми, на яких ґрунтується метод поділу відрізка навпіл для визначення власних значень тридіагональної матриці. Алгоритм методу.
8. Метод Якобі для розв'язання повної класичної матричної проблеми на власні значення.
9. Узагальнена часткова проблема на власні значення. Метод Релея. Метод ітерації підпростору.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ

1. Предмет і історія розвитку досліджень по оптимізації. Приклади математичних моделей. Багатокритеріальність.
2. **Мінімізація функцій однієї змінної.** Постановка задачі. Класичні методи розв'язку. Метод поділу відрізка навпіл. Метод золотого поділу. Оптимальні методи. Метод Фібоначчі. Методи ламаних, дотичних, парабол. Числові методи мінімізації багатоекстремальних функцій. Знаходження початкового локалізуючого відрізка.
3. **Мінімізація функцій багатьох змінних.** Постановка задачі. Класичні методи розв'язування. Оуклі множини, оуклі функції. Віддільність множин і опорні гіперплощини. Умови оптимальності, умови Джона, умови Куна-Таккера. Функція Лагранжа. Сідлові точки. Достатні умови оптимальності. Двоїстість.
4. **Числові методи безумовної оптимізації.** Загальні питання. Градієнтний метод, вибір кроку. Метод Ньютона, модифікації методу Ньютона. Різницеві варіанти методу, квазіньютонівські методи, методи спряжених напрямів. Методи нульового порядку.
5. **Задачі лінійного програмування.** Постановка задачі. Геометрична інтерпретація. Канонічна форма запису. Кутові точки. Симплекс-метод, знаходження початкової точки, оптимальний розв'язок, проблема зациклення. Розв'язування М-задачі лінійного програмування.
6. **Динамічне програмування.** Приклади розв'язування задач динамічного програмування. Задачі динамічного програмування в загальному вигляді. Принцип оптимальності.
7. **Задачі нелінійного програмування з обмеженнями.** Методи проекції градієнта, умовного градієнта. Методи лінеаризації, модифікованих функцій Лагранжа, штрафних функцій.
8. **Варіаційне числення.** Основна задача варіаційного числення. Метод варіацій. Необхідні умови слабого мінімуму. Основна лема варіаційного числення. Рівняння Ейлера. Лема Дюбуа-Реймона. Функція Вейерштраса. Голкові варіації. Задача Больца. Умови трансверсальності. Ізопериметричні задачі. Варіаційні задачі на умовний екстремум. Варіаційні задачі з похідними вищих порядків.
9. **Задачі оптимального керування.** Задача Лагранжа і основна задача оптимального керування. Принцип максимуму. Задача про оптимальну швидкодію. Задача синтезу. Лінійні задачі оптимального керування. Властивість області досяжності. Єдиність розв'язку. Принцип максимуму, достатня умова. Основні теореми про лінійну швидкодію. Теорема про число переключень. Теорема Фельдбаума.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ

1. Задачі ухвалення рішень (ЗУР). Моделювання ЗУР: головні елементи. Характеристика зв'язків між альтернативами і наслідками.
2. Моделі керування запасами (МКЗ). Поняття запасу. Види запасів. Доданки функції сумарних витрат; їхня характеристика.
3. Транспортна задача (ТЗ). Постановка транспортної задачі (ТЗ). Відкрита й закрита ТЗ. Тривіальні властивості закритої ТЗ.
4. Багатокритеріальні задачі ухвалення рішень. Ефективні та малоефективні вектори у задачах багатокритеріальної оптимізації. Множини Парето / Слейтера.
5. ЗУР в умовах невизначеності. Цілковита невизначеність. Оцінювана невизначеність. Ухвалення рішень в умовах конфлікту (теорія ігор).
6. Теорія ігор. Визначення нижньої / верхньої ціни, сідлової точки у матричній грі. Визначення ситуації рівноваги Неша у чистих стратегіях у біматричній грі.

ПРОГРАМУВАННЯ

1. Вказівники і посилання в C++. Масиви.
2. Функція – основна програмна одиниця мови C++.
3. Класи – основний засіб визначення типів. Конструювання об'єктів.
4. Перевизначення операторів в C++.
5. Наслідування як механізм повторного використання коду.
6. Поліморфізм.
7. Механізм контролю назв.
8. Множинне наслідування.
9. Винятки як системний підхід до обробки помилок.
10. Параметризовані функції та класи.
11. Узагальнене програмування на основі STL. Контейнери і алгоритми.
12. Об'єкти-функції та їх використання з алгоритмами для обробки контейнерів.
13. Програмування з використанням послідовних контейнерів
14. Програмування з використанням асоціативних контейнерів.
15. Ієрархія потокових шаблонів.
16. Призначення та особливості реалізації мовою C++ патернів створення об'єктів Singleton і Factory Method.
17. Призначення та особливості реалізації мовою C++ структурних патернів Adapter і Bridge.
18. Призначення та особливості реалізації мовою C++ патернів поведінки Command, Iterator і Strategy.
19. Загальна структура Windows-програми та її виконання.
20. Повідомлення як дані для керування виконанням Windows-програмою.
21. Вікно – основний елемент візуального інтерфейсу програми.
22. Особливості визначення типів в C#.
23. Розробка графічного інтерфейсу користувача засобами класів System.Windows.Forms.
24. Графічні об'єкти System.Drawing.
25. Зв'язування даних. Табличне представлення даних за допомогою DataGridView.
26. Сериалізація за допомогою XmlSerializer.
27. Робота з базою даних засобами Data.Command.
28. Робота з базою даних засобами DataSet і DataAdapter.
29. LINQ як модель доступу до даних. Оператори стандартних запитів.
30. Об'єктна модель LINQ to SQL. DataContext як джерело даних.
31. LINQ to DataSet. Розширення методами інтерфейсу IEnumerable<T>.
32. Архітектура 16-ти і 32-розрядних процесорів. Асемблерні команди, адресування операндів.
33. Використання бібліотек DLL: виклик функцій, явне зв'язування з бібліотекою.
34. Використання макровизначень.
35. Алгоритми функціонування та створення редактора тексту, табличного процесора, компілятора з мови асемблера

БАЗИ ДАНИХ ТА ІС

1. Історія розвитку БД. Основи побудови банків даних. Бази знань. Трьохрівневе зображення даних.
2. Моделі даних. Ієрархічна сіткова та реляційна модель даних. Об'єктно-орієнтована модель.
3. Структури даних реляційної моделі. Ключі відношень. Основи реляційної алгебри. Основні та додаткові операції.
4. Використання ER підходу до проектування БД. Правила виводу відношень із ER - діаграм.
5. Додавання записів у файл БД. Перегляд записів БД. Функції.
6. Пошук даних в базі.
7. Редагування даних. Команди редагування.
8. Робочі області. Зв'язки один до одного та один до багатьох. Об'єднання баз даних.
9. Командні файли.
10. Введення-виведення даних.
11. Команди галуження та організації циклів.
12. Організація меню. Створення інформаційної системи.
13. Мова запитів SQL.

АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

1. Історія розвитку обчислювальних систем. Архітектура фон Неймана - основа цифрових обчислювальних машин. Поняття алгоритму і його вплив на організацію ЕОМ. Базові принципи архітектури фон Неймана: принцип програмного управління, концепція зберігання програми в пам'яті. Основні функціональні пристрої ЕОМ архітектури фон Неймана: арифметико-логічний пристрій, пристрій пам'яті, пристрої для уведення і виведення інформації, пристрій управління.
2. Багаторівнева організація ЕОМ. Фізичний рівень. Рівень аналогової схемотехніки. Рівень цифрової схемотехніки. Рівень системотехніки. Мікроархітектурний рівень. Рівень машинних команд. Рівень операційної системи. Рівень мови асемблера. Мови високого рівня.
3. Інформаційна та елементна база ЕОМ. Поняття про інформацію. Системи числення. Форми представлення чисел в ЕОМ. Основи алгебри логіки. Логічний елемент. Класифікація логічних елементів за способом кодування двійкових змінних. Базова схема як схемотехнічна основа логічного елемента. Базові схеми найпростіших логічних елементів (І, АБО, НЕ). 2.2. Поняття про елементну базу ЕОМ (тригер, суматор, регістр, зсувач, шифратор, дешифратор, лічильник, арифметико-логічний пристрій). Реалізація типових комбінаційних схем. Запам'ятовувальні елементи: конденсатор з ключовим транзистором, асинхронна RS-защіпка, синхронна RS-защіпка, синхронна D-защіпка, RS-тригер, D-тригер. Типові послідовні вузли: регістри, лічильники, суматори.
4. Вступ до проблематики синтезу логічних схем. Таблиці істинності, логічні блоки на основі елементів певного логічного базису та їх схемна реалізація.
5. Характеристики продуктивності обчислювальних систем. Характеристики продуктивності на рівні апаратного забезпечення. Оцінка продуктивності на рівні програмного забезпечення.
6. Класифікація архітектур обчислювальних систем за інтегральними ознаками: взаємодія ЦП, ОЗУ, ПП (однопроцесорні, потужний процесор + периферійні процесори, багатопроцесорні, з магістральною шиною, мережна, функціонально-переналагоджувальна, масс-процесорна);
7. Взаємодія потоку команд і потоку даних). Архітектури ОКОД (SISD), БКОД (MISD), БКБД (MIMD), Архітектури SIMD: масивно-паралельні процесори, векторні процесори. Приклад архітектури SIMD. Архітектури MIMD.
8. Класифікація за функціональним призначенням. Аналогові, цифрові та гібридні ЕОМ. Класифікація за способом організації команд: CISC, RISC, MISC. Симетричні мультипроцесори, моделі спільного використання пам'яті: сувора погодженість, узгодженість за послідовністю, процесорна узгодженість, слабка узгодженість, вільна

узгодженість. Мультипроцесори UMA з шинної організацією, з координатним комутатором, з багатоступінчатими мережами. Мультипроцесори NUMA: NC-NUMA, CC-NUMA. Мультипроцесори COMA.

9. Канонічна схема мікропроцесора. Системи, види і формати команд універсальних мікропроцесорів. CISC-і RISC-архітектури. Вибірка, дешифрування та виконання команд. Подання роботи обчислювального тракту процесора на мікроархітектурному рівні.
10. Режими адресації пам'яті та пристроїв вводу-виводу. Система переривань. Механізми звернення до підпрограм. Мікропроцесор Intel 8086(88). Машинна мова. Архітектура процесора. Регістри загального призначення. Індексні регістри та регістри-вказівники. Регістри сегменту. Шини мікропроцесора. Зв'язок з магістраллю. Переривання (внутрішні та зовнішні, масковані та немасковані).
11. Напрямки розвитку архітектури сучасних універсальних мікропроцесорів. Конвейеризація виконання команд. Суперскалярна архітектура. Конвеєри процесорів Pentium, Pentium Pro, Pentium II, Pentium IV. Технологія перейменування регістрів. Технологія просування даних. Трирівнева кеш-пам'ять команд та кеш-пам'ять даних. Динамічне передбачення розгалужень. Розширення і конвейеризації циклів шини даних. Засоби забезпечення надійності даних. Підтримка мультипроцесора.

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Albahari Joseph, Albahari Ben. C# 7.0 in a Nutshell: The Definitive Reference, 2018, 1070 p.
2. Brenner S.C., Scott L.R. The Mathematical Theory of Finite Element Methods. Springer-Verlag New York Inc., 1994 – 294 pp.
3. Kress R. Numerical analysis. – New York: Springer, 1998.
4. Quarteroni A., Sacco R., Saleri F. Numerical Mathematics. – New York: Springer-Verlag, 2000.
5. SQL Tutorial. [Електронний ресурс]. – Доступний з <https://www.w3schools.com/sql/>
6. Андрійчук В.І., Забавський Б.В. Лінійна алгебра. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 238 с.
7. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Частина 3. Ухвалення рішень і теорія ігор: підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009.
8. Бартіш М.Я. Методи оптимізації. Теорія і алгоритми. – Л.: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. – 225с.
9. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Частина 2. Алгоритми оптимізації на графах: підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.
10. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Частина I. Лінійні моделі: підручник. – Л.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.
11. Бейко І.В., Зінько П.М., Наконечний О.Г. Задачі, методи та алгоритми оптимізації. – Київ: ВПЦ “Київський університет” 2012. – 711с.
12. Білушак Г.І., Чабанюк Я.М. Теорія ймовірностей та математична статистика: лекції: навч. посіб. для студ. вищих закл. освіти. – Л.: Львівський ЦНТЕІ, 2002. - 567 с.
13. Бублик В.В. Об'єктно-орієнтоване програмування: Підручник. – К.: ІТ-книга, 2015. – 624 с.
14. Вагін П.П., Остудін Б.А., Шинкаренко Г.А. Основи функціонального аналізу: Курс лекцій. - Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2005. - 140с.
15. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень. – К.: Вища школа, 1995. – Ч.1, Ч.2.
16. Дудзяний І.М. Програмування мовою C++. Частина 1: Парадигма процедурного програмування: навчальний посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 468 с.
17. Єжов С.М. Теорія ймовірностей, математична статистика і випадкові процеси: Навчальний посібник для студентів фізичного факультету. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка (КНУ), 2001
18. Заболоцький М.В., Сторож О.Г., Тарасюк С.І. Математичний аналіз. – К.: Знання, 2008.
19. Заболоцький М.В., Фединак С.І., Філевич П.В., Червінка К.А. Практикум з математичного аналізу. – Львів:Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009.
20. Завало С.Т. Курс алгебри. – К.: Вища школа, 1985. – 503 с.
21. Злобін Г.Г., Рикалюк Р.Є. Архітектура та апаратне забезпечення ПЕОМ: Навчальний

- посібник. – К., 2006
22. Капітонова Ю.В., Кривий С.Л., Летичевський О.А., Печурін М.К. Основи дискретної математики. – К.: Наукова думка, 2002.
 23. Локазюк В.М. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах: Посібник. – К., 2002.
 24. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Дискретна математика (у серії "Інформатика"). – К.: Видавнича група ВНУ, 2006, 2007.
 25. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Дискретна математика (у серії "Комп'ютинг"). – Л.: Магнолія-2006, 2009 (1-е видання), 2010 (2-е видання).
 26. Нікольський Ю.В., Пасічник В.В., Щербина Ю.М. Дискретна математика. – Л.: Магнолія Плюс, 2005, 2006 (1-е видання), 2007 (2-е видання, виправлене й доповнене), 2008 (3-є видання, виправлене й доповнене).
 27. Рикалюк Р.Є. Архітектура комп'ютерів: Текст лекцій. – Львів, 2002.
 28. Рикалюк Р.Є., Стягар О.М., Данчак П.В. Вступ до комп'ютерних мереж: Текст лекцій. – Львів, 1996.
 29. Connolly T. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management, Global Edition (6th Edition) / Thomas Connolly, Carolyn Begg. – ISBN 1292061847, 9781292061849 – Pearson Education, 2015. – 1440 p.
 30. Савула Я. Числовий аналіз задач математичної фізики варіаційними методами. – Л.: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2004. – 221с.
 31. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика. – К.: Знання, 2007.
 32. Цегелик Г.Г. Чисельні методи: Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 408 с.
 33. Шахно С.М. Чисельні методи лінійної алгебри. – Львів, 2007. – 248 с.
 34. Ярошко С., Ярошко О. Методи розробки алгоритмів. Програмування мовою С++: навч. Посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2022. – 248с.

Додаткова література

1. w3schools. Підручник С++ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.w3schools.com/cpp/default.asp>
2. Авдєєва Т., Шраменко В. Збірник задач з лінійної алгебри. – Київ, 2016. – 205 с.
3. Білушак Г.І., Чабанюк Я.М. Теорія ймовірностей та математична статистика. Практикум. Навчальний посібник для студентів вузів. – Львів: В-во "Край", 2002. – 542с.
4. Енциклопедія кібернетики (у 2 томах). – К., 1977.
5. Колодницький М.М. Технічне та програмне забезпечення комп'ютерних інформаційних технологій. – Житомир, 1995.
6. Рикалюк Р.Є. Лабораторний (симуляційний) практикум з курсу "Архітектура комп'ютерів". Електронний варіант. – Львів, 2007.
7. Сайт до вивчення С++: https://www.bestprog.net/uk/sitemap_ua/c/
8. Шахно С.М., Дудикевич А.Т., Левицька С.М. Практична реалізація чисельних методів лінійної алгебри. – Львів, 2009. - 148 с.
9. Ярошко С.А. Методи розробки алгоритмів. Навчальний посібник. – Л.: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. [Електронне видання].