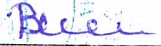


Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Затверджено
на засіданні приймальної комісії
Львівського національного університету
імені Івана Франка
28.03.2025 р. (протокол № 4)

В. о. ректора  – Володимир МЕЛЬНИК

ПРОГРАМА

фахового вступного випробування
для здобуття освітнього ступеня магістра
(для осіб, які вступають на основі попередньо здобутого
ОС “Магістр” та ОКР “Спеціаліст”)

Спеціальність – F4 «Системний аналіз та наука про дані»

Освітня програма – Системний аналіз

**Програма вступних фахових випробувань для вступників на навчання для здобуття ОР
магістра на факультет прикладної математики та інформатики**
**Спеціальність: F4 Системний аналіз та наука про дані (для осіб, які попередньо здобули
ОС «Магістр» або ОКР «Бакалавр»)**

Вступні випробування проводяться на основі екзаменаційних питань навчальних програм дисциплін циклу професійної та практичної підготовки навчального плану спеціальності 124 "Системний аналіз".

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.

Конкурсний бал (КБ) = $0,2 \times П1 + 0,2 \times П2 + 0,6 \times П3$, де

П1 – оцінка тесту загальної навчальної компетентності ЄВІ;

П2 – оцінка тесту з іноземної мови ЄВІ;

П3 – оцінка ЄФВВ або оцінка фахового іспиту в передбачених цим Порядком випадках.

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

База тестів фахового вступного випробування спеціальності F4 Системний аналіз та наука про дані 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 – 5;

Методи оптимізації – 2;

Чисельні методи лінійної алгебри – 2;

Програмування (web) – 1;

Комп'ютерна графіка – 1.

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

Тести мають форму бланкового опитування. Абітурієнт 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 степеневих рядів.
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. Класичне поняття ймовірності. Геометрична ймовірність. Правила додавання та множення ймовірностей. Формула повної ймовірності. Формула ймовірності гіпотез.
2. Схема Бернуллі. Формули Бернуллі. Найімовірніше число успіхів у схемі Бернуллі.
3. Випадкові змінні. Функція розподілу ймовірностей (кумулята). Густина розподілу ймовірностей. Анаморфоза розподілу ймовірностей.
4. Числові характеристики випадкових змінних (математичне сподівання, дисперсія, квантиль, інтерквантильні широти, мода, медіана випадкової змінної.)
5. Закон великих чисел. Гранична теорема, центральна гранична теорема теорії ймовірностей.
6. Характеристичні функції (характер) випадкових змінних. Теореми про адитивність випадкових змінних.
7. Числові характеристики статистичного матеріалу. Статистики центральної тенденції, статистики розсіювання. Статистики форми.
8. Критерій Персона. Перевірка однорідності вибірки за допомогою критерію Пірсона.
9. Гіпотези про параметри нормального розподілу. Статистика Стюдента. Статистика Фішера.
10. Порядкові статистики. (одновибірковий та двохвибірковий критерії погодженості. Статистики Колмогорова, Смірнова. Критерій знаків. Гіпотеза про медіану генеральної сукупності. Критерій інверсій. Статистика Вількоксона.)
11. Прямі регресії. Кореляції, варіанси, стандарти та регресії вищих порядків. Рівняння регресії однієї випадкової змінної відносно всіх інших.

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. Кореневе 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. Машини Тьюрінга. Функції, обчислювані за Тьюрінгом. Теза Тьюрінга.

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ЛІНІЙНОЇ АЛГЕБРИ

1. Прямі методи розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь загального вигляду. Метод Гауса. LU-розклад матриць.
2. Прямі методи розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь з симетричними матрицями. Методи квадратних коренів, ортогоналізації.
3. Ітераційні методи розв'язування звичайних систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Методи простих ітерацій, Якобі, Зейделя,
4. Методи варіаційного типу для розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь (мінімальних відхилів, мінімальних поправок).
5. Методи розв'язування часткових матричних проблем на власні значення (методи степенів, скалярних добутків).
6. Метод поворотів Якобі, методи LU- та OR-розкладу для розв'язування повних матричних проблем на власні значення.

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. Опуклі множини, опуклі 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. Різницьві 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 Вейєрштраса. 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 швидкість. Задача синтезу. Лінійні задачі оптимального керування. Властивість області досяжності. Єдиність розв'язку. Принцип максимуму, достатня умова. Основні теореми про лінійну швидкість. 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 закрыта ТЗ. Тривіальні властивості закрытої 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. Алгоритмічна мова C++, прийоми програмування, ООП
- 1.1. Структура програми на C++. Оператори, функції. Принципи будови мови C++. Загальні можливості мови C++. Операції і оператори мови. Особливості виконання окремих операцій.
- 1.2. Типи даних C++. Логічні операції, оператор if. Скалярні типи даних мови C++ та їх зображення в пам'яті. Арифметичні, логічні, літерні дані. Операції для різних типів даних. Оператор if.
- 1.3. Масиви, рядки, структури. Динамічна пам'ять. Визначення масивів. Індекссування. Текстові масиви і текстові рядки. Виділення і звільнення пам'яті.
- 1.4. Побудова циклів в C++. Типи операторів циклу. Цикли для опрацювання масивів.

- 1.5. Побудова функцій мовою C++. Визначення функцій. Прототип функції, тіло функції, виклик функції. Параметри функцій, типи параметрів, типи результату. Способи передавання параметрів. Передавання через параметри масивів, рядків, структур. Вказівники на функції. Параметри виду посилання (синоніми).
- 1.6. Програмовані класи і об'єкти. Конструктори та деструктори. Принципи будови класів. Оголошення і реалізація класів. Використання класів (об'єкти).
- 1.7. Перевантаження операцій у класах. Класи та динамічний розподіл пам'яті. Успадкування класів C++. Віртуальні методи.

БАЗИ ДАНИХ

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

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 введення 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 багатоступінчастими 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.

ПРОГРАМУВАННЯ НА ВЕБ

1. HTML. Структура HTML документа. Тип документа. Теги в HTML. Обов'язкові теги мови HTML. Атрибути тегів.

2. Основні елементи тіла HTML документа. Форматування тексту. Виділення тексту в HTML. Індеси. Списки. Посилання та якір. Зображення. Фрейми в HTML документі. Таблиці.

3. Елемент розмітки FORM і його компоненти. Параметри форми. Елементи форми.

4. Обмін даними у веб-технологіях. Протокол передачі даних HTTP. Специфікація обміну даними CGI. CGI - скрипт (типи запитів, механізми прийому даних скриптом).

5. Каскадні таблиці стилів. Підключення CSS. Типи носіїв. Базовий синтаксис CSS. Класи. Ідентифікатори. Контекстні селектори. Сусідні та дочірні селектори. Селектори атрибутів. Псевдокласи. Псевдоелементи.

6. JavaScript. Загальні відомості. Структура JS-програм. Змінні. Базові типи даних. Операції. Умовні вирази. Оператори циклів. Функції. Масиви.

7. Динамічний HTML. Об'єктна модель документа. Структура документа. Ієрархія об'єктів. Властивості та методи об'єктів. Події. Об'єкт event. Об'єктна модель документа в MS Internet Explorer.

8. ASP.NET. Сторінки ASP.NET. Властивості сторінки. Події сторінки. Способи впровадження коду ASP.NET у сторінку.

9. Елементи управління. Елементи управління HTML. Серверні елементи управління. Властивість AutoPostBack.

10. Стан сеансу. Архітектура сеансу. Використання стану сеансу. Поставщики стану сеансу (InProc, StateServer, SqlServer).

11. Класи перевірки даних. Валідатори. Валідатор наявності значення. Валідатор відповідності шаблону. Валідатор порівняння. Валідатор діапазону. Підсумковий валідатор. Користувачський валідатор. Групи валідації.

12. Робота з джерелами даних. ADO.NET. Робота з даними типу XML.

13. PHP. Середовище розробки. Apache HTTP-сервер. PHP інтерпретатор.

14. Елементи синтаксису PHP. Структура програми. Змінні та константи. Стрічки. Масиви. Конструкції list та each.

15. Форми РНР.
16. Java. Головні концепції. Платформа Java. Об'єктність. Безпека. Автоматичне керування пам'яттю. Структура Java програми. Типи даних.
17. Java-технології. Java-апплет. Сервлет.

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В., Оптимальное управление. М. Наука 1979.
2. Б.В.Гнеденко Курс теории вероятностей. М., 1969.
3. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М. Мир.1982.
4. Бартіш М.Я. Методи оптимізації. Теорія і алгоритми Львів 2006, 225с.
5. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. М. Наука, 1966.
6. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М. Наука. 1988.
7. Габасов Р., Кириллова Ф.М. Методы оптимизации, Минск. Из-во БГУ. 1981.
8. Григорьев В.Л. Микропроцессор i486. Архитектура и программирование (в 4-х книгах). - М., 1993.
9. Дао Л. Программирование микропроцессора 8088. Пер. с англ. - М., 1988.
10. Злобін Г.Г., Рикалюк Р.Є. Архітектура та апаратне забезпечення ПЕОМ: Навчальний посібник - К., 2006
11. С.Т.Завало. Курс алгебри. К.,1995р. 503 стр.
12. П.С.Сеньо Теорія ймовірностей та математична статистика. Київ, Знання, 2007.
13. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию, М. Наука. 1983.
14. Рикалюк Р.Є. Архітектура комп'ютерів: Текст лекцій. Львів, 2002.
15. Рикалюк Р.Є. Лабораторний (симуляційний) практикум з курсу "Архітектура комп'ютерів". Електронний варіант. Львів, 2007
16. Рикалюк Р.Є., Стягар О.М., Данчак П.В. Вступ до комп'ютерних мереж: Текст лекцій. - Львів, 1996.
17. Шахно С.М. Чисельні методи лінійної алгебри. - Львів, 2007. - 248 с.
18. Шахно С.М., Дудикевич А.Т., Левицька С.М. Практична реалізація чисельних методів лінійної алгебри. - Львів, 2009. - 148 с.
19. Ю.В. Капітонова, С.Л. Кривий, О.А. Летичевський, М.К. Печурін. Основи дискретної математики. К., Наукова думка, 2002.
20. Ю.В.Нікольський, В.В.Пасічник, Ю.М. Щербина. Дискретна математика. Львів, Магнолія Плюс, 2005, 2006 (1-е видання), 2007 (2-е видання, виправлене й доповнене), 2008 (3-є видання, виправлене й доповнене).