

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»



ЗАТВЕРДЖЕНО:

в.о. президента ДУ «КАІ»

Ксенія СЕМЕНОВА

04 2025 року

ПРОГРАМА
ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ ДО АСПІРАНТУРИ
зі спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія»
на здобуття ступеня доктора філософії
третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Галузь знань F «Інформаційні технології»
Освітньо-наукова програма «Комп'ютерна інженерія»

ПЕРЕДМОВА

Програма вступного екзамену за спеціальністю F7 «Комп'ютерна інженерія» відображає сучасний стан цієї галузі та включає її найважливіші розділи, знання яких необхідно для вступників на навчання до аспірантури.

Екзаменований має показати високий рівень теоретичної та професійної підготовленості, знання загальних концепцій і історії розвитку, глибоке розуміння основних розділів, а також вміння використовувати свої знання для розв'язання дослідних та прикладних завдань у галузі комп'ютерних систем та компонентів.

Програма включає напрямки:

Історія розвитку комп'ютерів, систем, мереж та їх компонентів.
Математичні, арифметичні та логічні основи обчислювальної техніки.
Архітектура комп'ютерів та принципи обробки інформації.
Обчислювальні системи.
Обчислювальні мережі.
Теоретичні основи побудови компонентів.
Компоненти комп'ютерів, систем та мереж.
Програмне забезпечення комп'ютерів та мереж.
Проектування комп'ютерів, систем та мереж.
Надійність комп'ютерів, систем та мереж.
Захист інформації в системах та мережах.
Інформаційно-вимірювальні системи та їх компоненти.
Інструментальні засоби дослідження комп'ютерних систем.

1. Історія розвитку комп'ютерів, систем, мереж та їх компонентів

- 1.1. Етапи розвитку засобів обчислювальної, керуючої та вимірювальної техніки та їх компонентів.
- 1.2. Цифрові та аналогові комп'ютери: основні принципи побудови та організації обчислювального процесу.
- 1.3. Класифікація комп'ютерів: основні класифікаційні ознаки.
- 1.4. Розвиток інтегральних технологій, закон Мура та фізичні обмеження їх розвитку.
- 1.5. Нові технології створення компонентів та структур комп'ютерів (оптичних, кріоелектронних, біотехнологій та ін.). Закони Гроша, Амдала та ін.
- 1.6. Нові технології інтеграції комп'ютерних систем: основні принципи побудови Інтернету речей.

2. Математичні, арифметичні та логічні основи обчислювальної техніки

- 2.1. Множина. Алгебраїчні та теоретико-множинні операції над множинами. Унарні, бінарні та тернарні відношення. Властивості відношень: рефлексивність, симетричність та транзитивність. Відношення еквівалентності. Класи еквівалентності та індекс відношення еквівалентності. Відношення толерантності. Відображення. Ін'єктивні та бієктивні відображення. Функція, функціонал, предикат. Потужність множини.
- Поняття алгебри. Одноосновні та багатоосновні алгебри. Система алгоритмічних алгебр В.М. Глушкова. Подання алгоритмів у системах алгоритмічних алгебр.

- 2.1. Алгоритмічна універсальність комп'ютерів. Машина Тьюринга.
- 2.2. Булеві функції. Означення булевої функції. Кількість булевих функцій n змінних та їх основні властивості. Булеві функції двох змінних. Теорема про розкладання булевих функцій за змінними. Принцип двоїстості, двоїсті формули. Диз'юнктивна та досконала диз'юнктивна нормальна форма функції. Кон'юнктивна та досконала кон'юнктивна нормальна форма функції. Повнота системи функцій. Поняття базису системи булевих функцій. Постановка задачі мінімізації булевих функцій. Спрощення диз'юнктивних нормальних форм та тупикові диз'юнктивні нормальні форми. Аналітичні методи мінімізації. Карти Карно. Мінімізація неповністю визначених булевих функцій. Поняття комбінаційної схеми та її синтез. Приклади синтезу (комбінаційний суматор, перетворювач кодів тощо).
- 2.2. Теорія орієнтованих графів. Засоби задання графів: аналітичний, гкомп'ютеріветричний, матричний. Головні поняття орієнтованих графів: циклічність, ациклічність, зв'язність, шлях, цикл, дерево. Графи з насиченим та порожнім відношенням. Ізоморфізм та ізоморфне вкладення графів. Головні леми та теореми. Алгоритми визначення ізоморфізму графів та визначення ізоморфного вкладення графів. Теоретико-множинні властивості графів та операції над ними. Алгебраїчні властивості графів та операції над ними.
- 2.3. Теорія скінченних автоматів. Засоби задання автоматів: аналітичний, гкомп'ютеріветричний та матричний. Графоїд скінченного автомата та навантажене прадереву. Автомати I та II роду. Автомат Мілі та автомат Мура. Еквівалентність автоматів. Інтерпретація автомата Мура за допомогою автомата Мілі. Зображення подій у автоматах. Алгебра подій. Регулярний вираз, регулярна подія. Задання регулярних виразів у формі графів. Правила запобігання хибних шляхів у графах регулярних виразів. Аналіз скінченних автоматів. Алгебраїчні та теоретико-множинні операції над автоматами. Декомпозиція автоматів. Задача синтезу автоматів. Абстрактний та структурний синтез автоматів. Перша та друга теореми Кліні. Алгоритм синтезу автомата за регулярним виразом (алгоритм абстрактного синтезу автомата). Структурний синтез автоматів. Алгоритми структурного синтезу автоматів Мілі та Мура. Формування структурної таблиці автомата. Приклади структурного синтезу автоматів Мілі та Мура на різних елементах пам'яті та з комбінаційною частиною, виконаною у різних базисах. Рівняння функцій збудження тригерів. Структурні схеми автоматів.
- 2.4. Подання інформації в комп'ютерах. Системи числення. Способи представлення даних. Подання десяткових чисел та символічної інформації.
- 2.5. Організація виконання арифметичних та логічних операцій і способи їх прискорення.

3. Архітектура комп'ютерів та принципи обробки інформації

- 3.1. Архітектура і структури комп'ютерів, та варіанти їх архітектурно-структурної організації. Апаратні та програмні платформи комп'ютерів, їх приклади.
- 3.2. Характеристики комп'ютерів (продуктивність, надійність, достовірність обробки інформації, способи представлення інформації, ємність оперативного та постійного запам'ятовуючого пристрою та ін.).
- 3.3. КЕШ-пам'ять, застосування внутрішньої мови високого рівня.

3.4. Інтенсивні та екстенсивні структури комп'ютерів (модель фон-Неймана-Лебедева, комп'ютерів з зосередженими та розосередженими апаратними засобами, комп'ютерів з програмованою структурою).

3.5. Формування, вилучення, представлення та опрацювання знань в комп'ютерних системах. Основні визначення способів керування знаннями. комп'ютерів для роботи з алгебрами складних структур даних, лексикографічні системи, текст-процесінг.

3.6. Нейронні мережі. Архітектурні особливості та функціональні можливості.

4. Обчислювальні системи

4.1. Різновиди обчислювальних систем та обчислювальних комплексів. Класифікації Фліна, Ерлангера, Шора та ін.

4.2. Багатомашинні та багатопроцесорні системи. Особливості побудови та використання.

4.3. Проблемно-орієнтовані системи: знання-орієнтовні, матричні, асоціативні та інші системи.

4.4. Географічно розподілені системи: призначення та принципи організації. Метакомп'ютери та GRID-системи, архітектурно-структурна організація та особливості застосування. Хмарні технології.

4.5. Системи з реконфігурованою структурою. Принципи організації, особливості проектування та застосування.

5. Обчислювальні мережі

5.1. Концепція відкритої системи. Приклади відкритих систем. Еталонна модель взаємодії відкритих систем OSI. Основні функції кожного рівня моделі OSI. Семирівнева архітектура. Функції рівнів та їх взаємодія. Послуги, протоколи, інтерфейси.

5.2. Фізичні середовища передавання даних та їх порівняльні характеристики. Теорема Шеннона про взаємозв'язок смуги пропускання та перепускної спроможності каналу.

5.3. Технології комутації каналів, повідомлень та пакетів. Логічна та фізична структури мереж.

5.4. Мережі даних, що передаються (МПД). Архітектура МПД типів X.25, ISDN, Frame Relay, ATM та ін. Міжнародні стандарти на МПД.

5.5. Локальні мережі: топологія, архітектура та структурна організація. Методи доступу в мережах типу Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM. Формати кадрів. Порівняння характеристик локальних мереж.

5.6. Корпоративні мережі. Функції, алгоритми та особливості концентраторів, мостів, комутаторів та маршрутизаторів. Типи маршрутизаторів та протоколи маршрутизації. Засоби захисту мережевого периметра.

5.7. Internet: архітектура та структурна організація. Стек протоколів TCP/IP. Формати пакетів, адресація та маршрутизація в IP-мережах. Технологія WWW та її складові.

6. Теоретичні основи побудови компонентів

6.1. Основи теорії моделювання. Поняття моделі, основні властивості моделей, класифікація моделей. Мови моделювання. Методи обробки результатів моделювання.

6.2. Елементи теорії лінійних електричних кіл. Основні закони і теореми. Методи аналізу лінійних електричних кіл: контурних струмів, вузлових потенціалів, матричний аналіз. Аналіз нелінійних електричних кіл.

6.3. Передавальні, перехідні та амплітудно-частотні характеристики. Аналіз швидкодії компонентів у часовій та у частотній областях. Методи аналізу стійкості.

6.4. Основні поняття експериментальних досліджень, спостереження, лічба, вимірювання, контроль, діагностика.

6.5. Фізичні величини та сигнали, їх математичний опис. Систематизація фізичних величин. Класифікація вимірювань: прямі, непрямі, опосередковані, сукупні і сумісні.

7. Компоненти комп'ютерів, систем та мереж

7.1. Цифрові компоненти

7.1.1. Типи вузлів та блоків сучасних комп'ютерів, їх характеристики. Процесори комп'ютерів, засоби пам'яті та керування обчислювальними процесами, пристрої вводу-виводу інформації.

7.1.2. Великі інтегральні схеми (ВІС). Типи та комплекти ВІС. Їх характеристики та технології виготовлення.

7.1.3. Логічні інтегральні схеми, що програмуються, особливості їх організації та використання.

7.1.4. Мікропроцесори: структура, внутрішні мови, типові операції та процедури. Приклади та характеристики сучасних μP .

7.1.5. Процесори цифрової обробки сигналів. Типи та характеристики.

7.1.6. Інтегральні схеми пам'яті. Види інтегральних запам'ятовуючих пристроїв (ЗП). ІС з довільною та послідовною вибіркою на біполярних та МДП транзисторах. Програмовані та перепрограмовані постійних ЗП. Порівняльна оцінка сучасних статичних та динамічних ЗП. ЗП на приладах із зарядним зв'язком, на циліндричних доменах, голографічні, кріоелектронні ЗП.

7.2. Аналогові та аналого-цифрові, цифроаналогові компоненти

7.2.1. Операційні підсилювачі (ОП). Аналіз схем ОП, їх основні параметри та характеристики. Температурний і часовий дрейфи. Методи компенсації дрейфу. Стійкість схем ОП, їх корекція.

7.2.2. Засоби вимірювальної техніки: міра, вимірювальний перетворювач, масштабний перетворювач, компаратор. Основні параметри і характеристики.

7.2.3. Інструментальні підсилювачі, активні фільтри, перемножувачі і модулятори. Аналогові комутатори та схеми пам'яті. Синтезатори аналогових сигналів.

7.2.4. Давачі та перетворювачі. Тензочутливі елементи, термоелектричні перетворювачі, термопари. Оптикоелектронні перетворювачі. Давачі Холла, магніторезистори, напівпровідникові квантові інтерферометри (СКВІД).

7.2.5. Цифроаналогові перетворювачі (ЦАП). Основні вузли, характеристики та параметри. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП). АЦП прямого та компенсаційного перетворювань. Сигма-дельта АЦП. Основні параметри та характеристики.

7.2.6. Похибки перетворювачів. Причини їх виникнення та їх оцінка. Методи математичного опису чутливості та точності засобів перетворення. Детермінований та імовірнісний методи оцінки похибок. Статичні і динамічні похибки перетворювачів.

8. Програмне забезпечення комп'ютерів та мереж

8.1. Асемблери та їх типи. Машинно-залежні та незалежні характеристики асемблерів. Транслятори з мов асемблера.

8.2. Операційні системи (ОС). Основні компоненти та загальні характеристики операційних систем та їх інтерфейсів. Абстракція процесу та її призначення, стани процесу. Взаємодія процесів, графи розвитку процесів. Приклади взаємодії процесів. Поняття критичної секції. Абстракція потоку та її призначення, стани потоку. Застосування потоків у мультизадачних операційних системах та системах реального часу. Методи синхронізації процесів та потоків.

8.3. Мережеві ОС: архітектура та функціональні особливості, адміністрування. Безпека інформаційних ресурсів. Технологія архівного резервування.

8.4. Структури даних. Типові статичні та динамічні структури даних: стек, черга, список, дерево. Обхід двійкових дерев. Доступ до даних. Використання рекурсивних методів в програмуванні.

8.5. Технологія програмування. Поняття технології програмування. Елементи технології програмування та її складові. Основні технології програмування: модульне та структурне програмування, багаторівневий структурний синтез, CASE-технології. Технології створення застосувань у сучасних візуальних середовищах програмування.

8.6. Машинно-орієнтовані, проблемно-орієнтовані та універсальні мови програмування. Абетка, синтаксис та семантика. Способи опису мов програмування. Сучасні мови програмування.

8.7. Парадигма та принципи об'єктно-орієнтованого програмування. Визначення об'єкту та примірника об'єкту. Поля та методи об'єктів. Інкапсуляція даних, спадкування та поліморфізм. Присвоювання об'єктів та передача їх як фактичних параметрів у процедури та функції. Статичні методи об'єкту та їх властивості. Визначення віртуальних методів та їх властивості. Конструктори та таблиці віртуальних методів. Задання початкових значень об'єктів. Динамічні об'єкти та їх утворення. Звільнення об'єктів. Деструктори. Модулі, що експортують об'єкти. Приватна частина об'єкту. Тенденції розвитку інструментальних візуальних систем об'єктно-орієнтованого програмування. Сучасні мови об'єктно-орієнтованого програмування.

8.8. Компіляція та її фази. Оптимізуючі компілятори.

9. Проектування комп'ютерів, систем та мереж

9.1. Системний підхід до проектування комп'ютерів. Рівні та етапи проектування.

9.2. Завдання та методи проектування. Системне, функціональне, логічне, технічне та технологічне проектування. Основні задачі проектування апаратури на ВІС.

9.3. Системна інтеграція комп'ютерних засобів як розвиток системного підходу до проектування. Загальне поняття та визначення.

9.4. Основні технології проектування: багатоагентна технологія, Web-технологія та ін. Стратегія вибору сумісних апаратних та програмних засобів. Інтеграція різних апаратних та програмних платформ для побудови обчислювальних систем.

9.5. Моделювання для обґрунтування запропонованих технічних рішень. Мови опису апаратури (VHDL, Verilog та ін.).

9.6. Онтологія як інструмент проектування комп'ютерних систем.

9.7. Проектування функціональних блоків та елементної бази комп'ютерів за допомогою САПР. Програмні комплекси САПР (Design Lab., OrCAD, PSpice та ін.)

9.8. Особливості проектування реконфігурованих комп'ютерних систем з використанням ПЛІС.

10. Надійність комп'ютерів, систем та мереж

10.1. Показники надійності комп'ютерів, систем та мереж. Вплив параметрів елементної бази на показники надійності.

10.2. Методи та способи забезпечення високої достовірності обробки інформації.

10.3. Достовірність результатів обробки інформації в комп'ютерів та мереж, в залежності від відмов та збоїв апаратури.

10.4. Апаратний автоматичний контроль комп'ютерів та мереж для забезпечення достовірності обробки інформації.

10.5. Методи кодування інформації та їх застосування для підвищення надійності обробки інформації.

11. Захист інформації в системах та мережах

11.1. Інформаційна безпека комп'ютерної обробки та зберігання даних. Основні задачі захисту інформації в комп'ютерних системах та мережах. Рівні інформаційної безпеки: захист комп'ютера, мережі та інформації. Визначення безпеки як процесу.

11.2. Організаційні, програмні та апаратні засоби захисту інформації. Засоби обмеження доступу до інформації для захисту комп'ютерних систем та мереж від спроб несанкціонованого доступу.

11.3. Алгоритми та програми криптографічного шифрування даних. Спецпроцесори для криптографії. Засоби ідентифікації користувачів.

11.4. Комп'ютерні віруси, їх класифікація та розповсюдження, методи виявлення вірусів та засоби захисту від них. Найбільш розповсюджені пакети захисту від вірусів.

11.5. Авторське право (зокрема на програмне забезпечення) та засоби його захисту.

12. Інформаційно-вимірювальні системи та їх компоненти

12.1. Основні визначення вимірювальної техніки: вимірювання, фізична величина, результат вимірювання, похибка вимірювання та її складові, класифікація методів вимірювання.

12.2. Засоби вимірювання та їх характеристики. Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) та вторинні вимірювальні перетворювачі (ВВП), їх похибки. Мостові схеми ВП.

12.3. Цифрові вимірювальні пристрої (ЦВП). Вимірювачі частоти. Інтегруючі ЦВП. ЦВП розгортаючого перетворювання та слідкуючі ЦВП.

12.4. Мікропроцесорні засоби та системи автоматичних вимірювань.

12.5. Основні метрологічні характеристики ЦВП.

13. Інструментальні засоби дослідження комп'ютерних систем

- 13.1. Основні поняття процедур дослідження комп'ютерних систем (КС).
Головний понятійний апарат. Моделювання як основний інструмент дослідження систем.
- 13.2. Проблеми моделювання в прикладних інтелектуальних системах: модель предметної області. Декомпозиція досліджуваної системи.
- 13.3. Загальна схема дослідження КС. Показники якості виконання функцій комп'ютерною системою.
- 13.4. Сучасні методи моделювання інтелектуальних процесів. Метод інтелектуального аналізу даних. Моделі штучного інтелекту.
- 13.5. Поняття продуктивності КС. Моделі і засоби оцінки продуктивності КС.
- 13.6. Поняття бітрейту та інструментарій для його оцінки.
- 13.7. Представлення моделі для оцінювання продуктивності в алгоритмічному і математичному вигляді. Оцінювання продуктивності елементів КС.
- 13.8. Оцінювання швидкості передачі інформації за маршрутом
- 13.9. Дослідження факторів впливу на цілісність інформації в КС. Втрати інформації, яка доставляється PDU в комп'ютерних мережах. Оцінка ступеню спотворення даних в КС.
- 13.10. Затримка сигналів у комп'ютерних системах. Оцінка затримки розповсюдження.
- 13.11. Технології моделювання інтелектуальних процесів при дослідженні станів комп'ютерних систем.
- 13.12. Засоби оцінки часу встановлення комунікації між елементами КС. Засоби оцінки часу на розірвання зв'язку. Оцінка ймовірності сбросу з'єднання.
- 13.13. Коливання часу затримки PDU в комп'ютерних мережах. Інструментарій оцінки ступеня коливань часу затримки протокольних одиниць даних.
- 13.14. Пульсації бітрейту. Джиттер.
- 13.15. Ймовірнісні характеристики комунікацій в комп'ютерних мережах.
- 13.16. Засоби оцінки ймовірності встановлення комунікації між елементами КС.
- 13.17. Сучасні програмно-апаратні середовища для реалізації практичних завдань дослідження комп'ютерних систем.
- 13.18. Діагностика транспортної служби: інструментальні засоби статистичного аналізу для оцінювання продуктивності комп'ютерної мережі.
- 13.19. Проблема оцінки якості передачі мовних PDU.
- 13.20. Діагностика функціональності представницького рівня: показники ступеня коливання бітрейту для оцінки якості передачі мовних PDU.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВСТУПНОГО ІСПИТУ

Система оцінювання результатів вступних випробувань відповідає їх структурі та змісту, та відповідає «Положенням про підготовку здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у Національному авіаційному університеті». Вступні випробування проводяться у письмовій та усній формі, за присутності не менше двох членів та голови предметної комісії у аудиторії.

Оцінка за виконання вступного екзамену складається з суми балів за виконання її трьох завдань. Знання та вміння, продемонстровані вступниками до аспірантури на вступних випробуваннях зі спеціальності, оцінюватимуться за 200-бальною шкалою, з наступним переведенням до оцінки за національною шкалою (Таблиця).

Таблиця

Шкала оцінювання результатів виконання завдань екзаменаційного білету

Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою	Пояснення
190-200 балів	відмінно	- розкриті і точно вжиті основні поняття; - сутність питань розкрито повно, розгорнуто, логічно; - використані приклади, що ілюструють теоретичні положення; - представлені різні точки зору на проблему; - відповіді обґрунтовані та послідовні; - повно і оперативно надано відповіді на додаткові запитання.
175-189 балів	добре	- розкриті основні поняття; - сутність питань розкрита повно, логічно; - використані приклади, що ілюструють теоретичні положення; - повно і оперативно надано відповіді на додаткові запитання.
101-174 бали	задовільно	- розкрита тільки менша частина основних понять; - не точно використані основні поняття; - не повно дані відповіді на питання; - не наведені приклади, що ілюструють теоретичні положення; - немає відповіді на більшість додаткових питань.
0-100 балів	незадовільно	- не розкрито жодне з основних понять; - не дані основні визначення; - допущені суттєві неточності при викладі матеріалу.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tanenbaum A. S., Feamster N., Wetherall D. J. Computer Networks. Harlow : Pearson, 2021. 946 p.
2. Голь В. Д., Ірха М. С. Системи передачі даних : конспект лекцій. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. 126 с.
3. Гребенюк А. М., Рибальченко Л. В. Основи управління інформаційною безпекою : навч. посіб. Дніпро : Дніпроп. держ. ун-т внутріш. справ, 2020. 144 с.
4. Інтелектуальні кібернетичні системи: еволюція принципів, теорій та безпекових технологій : монографія / С. І. Доценко та ін. Київ : Юстон, 2023. 312 с.
5. Коба О.В., Кучеров Д.П. Планування та обробка результатів експериментів: навч. посіб. Київ.: НАУ, 2022. 260 с.
6. Коваль Ю. В., Ставровський А. Б. Інформаційні мережі : навч. посіб. Київ, КНУ ім. Тараса Шевченка, 2021. 84 с.
7. Колісник Д. Р., Місевич К. С., Коваленко С. В. Системна архітектура IoT-Fog-Cloud для систем аналізу великих даних і кібербезпеки: огляд туманних обчислень, впровадження аудиту інтернету речей. *Сучасний захист інформації*. 2020. № 3. С. 34–38.
8. Комп'ютерні мережі : підруч. / О. Д. Азаров та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 377 с.
9. Комп'ютерні мережі: контроль та прогнозування перевантажень : навч. посіб. / О. М. Ткаченко та ін. Київ : ДУТ, 2021. 77 с.
10. Комп'ютерні системи : навч. посіб. / К. М. Марченко та ін. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 178 с.
11. Коробейнікова Т. І., Захарченко С. М. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. Львів : вид-во Львівської політехніки, 2022. 228 с.
12. Корченко А. О., Гребенюк В. М. Технології виявлення та попередження кібератак : навч. посіб. Київ : НАУ, 2021. 108 с.
13. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навч. посіб. Ужгород : ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.
14. Малашонок Г. І., Сідько А. А. Паралельні обчислення на розподіленій пам'яті: OpenMPI, Java, Math Partner : підруч. Київ : НаУКМА, 2020. 266 с.
15. Мельник А.О. та ін. Кіберфізичні системи: багаторівнева організація та проектування. Львів: "Магнолія 2006", 2024. 238с.
16. Моделювання сучасних комп'ютерних систем: монографія / В. Ф. Гарькава та ін. Варшава : RS Global Sp. z O.O., 2020. 73 с.
17. Новацький А. О. Імпульсна та цифрова електроніка : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2021. 385с.
18. Пасічник В. В., Лупенко С. А., Тиш Є. В. Комп'ютерна логіка : навч. посіб. Київ : Computing, 2021. 354 с.
19. Подчашинський Ю. О., Тарарака В. Д., Чепюк Л. О. Електроніка та мікропроцесорна техніка. Цифрова електроніка : навч. посіб. Житомир : видавець О. О. Євенок, 2020. 235 с.
20. Фактори продуктивності застосування моделей штучного інтелекту у хмарі з використанням GPU / В. Г. Тульчинський та ін. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2020. Вип. 1. С. 74–82.
21. Хмарні технології : навч. посіб. / О. В. Зінченко та ін. Київ : ФОП В. М. Гуляєва, 2020. 74 с.