

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету комп'ютерних
інформаційних технологій



Ігор ЯКИМЕНКО

« 30 » 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-
педагогічної роботи



Віктор ОСТРОВЕРХОВ

« 30 » 2025 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Навчально-наукового інституту
новітніх освітніх технологій

Святослав ПИТЕЛЬ

« 30 » 09 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни

«КВАНТОВІ ОБЧИСЛЕННЯ»

ступінь вищої освіти – магістр

галузь знань – **F Інформаційні технології**

спеціальність – **F5 Кібербезпека та захист інформації**

освітньо-професійна програма – **Кібербезпека**

Кафедра кібербезпеки

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Лабор. заняття (год.)	ІРС (год.)	Тренінг (год.)	СРС (год.)	Разом (год.)	Екзамен, (сем.)
Денна	1	2	32	14	5	6	93	150	Екзамен (2)
Заочна	1	2	8	4	-	-	138	150	Екзамен (2)

Тернопіль - 2025

Робочу програму склали доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки Михайло КАСЯНЧУК та кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки Степан ІВАСЬЄВ.

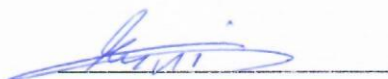
Робоча програма затверджена на засіданні кафедри кібербезпеки, протокол № 3 від 29.09.25 р.

Завідувач кафедри кібербезпеки



Василь ЯЦКІВ

Гарант освітньо-професійної програми



Василь ЯЦКІВ

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Опис дисципліни “Квантові обчислення”

Дисципліна “Квантові обчислення”	Галузь знань, спеціальність, СВО	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 5	галузь знань – F Інформаційні технології	Статус дисципліни вибіркова Мова навчання українська
Кількість залікових модулів – 4	спеціальність – F5 Кібербезпека та захист інформації	Рік підготовки: Денна – 1 Заочна – 1 Семестр: Денна – 2 Заочна – 2
Кількість змістових модулів – 2	ступінь вищої освіти – магістр	Лекції (год): денна – 32; заочна – 8. Лабораторні заняття (год): денна – 14; заочна – 4.
Загальна кількість годин – 150		Самостійна робота (год): денна – 93; заочна – 138. Тренінг (год): денна – 6. Індивідуальна робота (год): денна – 5
Тижневих годин – 10, з них аудиторних – 3		Вид підсумкового контролю – екзамен.

2. Мета й завдання вивчення дисципліни “Квантові обчислення”

2.1. Мета завдання дисципліни

Мета вивчення дисципліни “Квантові обчислення” полягає у формуванні у майбутніх фахівців достатньо широкої підготовки в галузі квантової обробки інформації, оволодіння фундаментальними поняттями, законами і теоріями квантової фізики та квантових обчислень, що забезпечує їм ефективне опанування спеціальних дисциплін і подальшу можливість використання таких фізичних принципів у галузі захисту інформації.

Вивчення курсу “Квантові обчислення» передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із суміжних курсів («Криптографічні протоколи та методи криптоаналізу», «Стеганографічні методи»), а також цілеспрямованої роботи на лекційних та лабораторних заняттях, самостійної роботи здобувачів.

2.2. Завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є систематизація інформації щодо розроблення, впровадження та експлуатації криптографічних систем захисту інформації на об’єктах інформаційної діяльності, формування навичок аналізу систем забезпечення інформаційної безпеки з метою впровадження найкращих практик криптографічного захисту інформації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач повинен:

- знати визначення основних термінів із теорії квантових обчислень: стану квантової частинки та системи частинок, заплутаного стану, обмежень та властивостей перетворень станів квантової системи;
- знати приклади застосування квантових систем опрацювання інформації, таких як алгоритм формування секретного ключа Беннетта-Брассарда, щільне кодування, телепортація;
- знати обмеження сфери застосування квантових обчислень та співвідношення між класами задач, що розв’язуються на квантових і класичних комп’ютерах;
- знати основні квантові алгоритми: ДойчаЙожи, Саймона, Гровера, Шора;

- вміти будувати квантові схеми для заданих логічних функцій, а також інтерпретувати задані квантові схеми;
- вміти знаходити матрицю перетворення системи квантових частинок, за заданими паралельними та послідовними перетвореннями підсистем;
- вміти визначати коректність та заплутаність станів квантової системи;
- обґрунтовувати вибір структури квантової схеми для виконання тих чи інших перетворень.

3. Програма навчальної дисципліни “Квантові обчислення”

Змістовий модуль 1. Основи квантових обчислень.

Тема 1. Вступ до квантових обчислень.

Історія квантових обчислень. Мотивація: межі класичних комп'ютерів. Сфери застосування.

Огляд архітектури курсу.

Тема 2. Основи квантової механіки для інформатики.

Квантовий стан, постулати. Лінійний простір, оператори. Гільбертів простір. Оператори вимірювання.

Тема 3. Кубіти та представлення квантової інформації.

Кубіт як вектор у 2D просторі. Суперпозиція. Сфера Блоха. Стани $|0\rangle$, $|1\rangle$, $|+\rangle$, $|-\rangle$.

Тема 4. Основні квантові гейти та операції.

Унітарні оператори. Гейти: X, Y, Z, H, S, T. CNOT, Toffoli, SWAP. Побудова квантових схем.

Тема 5. Складені квантові системи та тензорні добутки.

Тензорний добуток станів. Багатокубітні системи. Приклади комбінованих операцій.

Тема 6. Ентангльмент (заплутаність).

Визначення та фізичний зміст. Стани Белла. Вимірювання заплутаних кубітів. Практичні застосування.

Тема 7. Квантове вимірювання.

Проекційне вимірювання. Базис вимірювання. Результат і ймовірності. Колапс хвильової функції.

Змістовий модуль 2. Квантові алгоритми і протоколи

Тема 8. Принципи квантових алгоритмів.

Відмінність від класичних алгоритмів. Паралелізм за допомогою суперпозиції. Інтерференція як механізм підсилення правильних відповідей.

Тема 9. Алгоритм Дойча – Джозі.

Однокубітна версія Дойча. Узагальнення Джозі. Оцінка ефективності. Квантова перевага.

Тема 10. Алгоритм Гровера.

Постановка задачі. Конструкція оператора орокла. Амплітування: оператор інверсії. Порівняння з класичним пошуком.

Тема 11. Алгоритм Шора для факторизації.

Обчислювальна складність задачі факторизації. Періодичність та квантове перетворення Фур'є. Приклад роботи алгоритму. Імплікації для криптографії.

Тема 12. Квантова телепортація.

Схема телепортації. Ентангльмент + класичний канал. Аналіз станів. Практичне значення.

Тема 13. Квантові протоколи безпеки.

Протокол BB84. Детекція прослуховування. No-cloning теорема. Квантове розповсюдження ключів (QKD).

Тема 14. Основи квантової корекції помилок.

Причини помилок у квантових системах. Ідея квантового кодування. Код Шора, код Стіма. Поверхневі коди (surface codes).

Тема 15. Сучасні квантові комп'ютери та перспективи.

Архітектури: супровідні, іонні пастки, топологічні. IBM Q, Google Sycamore, D-Wave. Проблеми масштабування. Хмарні платформи (IBM Quantum Experience, Braket, Qiskit).

4. Структура залікового кредиту дисципліни “Квантові обчислення”

4.1 Структура залікового кредиту дисципліни “Квантові обчислення” для ДФН

		Кількість годин				
		Лек-ції	Лаборато-рні заняття	Самостій-на робота	Індиві-ду-альна робота	Тренінг
	Змістовий модуль 1. Основи квантових обчислень.					
Тема 1. Вступ до квантових обчислень.	2	-	6	2	3	Поточне опитува-ння
Тема 2. Основи квантової механіки для інформатики.	2	-	6			
Тема 3. Кубіти та представлення квантової інформації.	2	-	6			
Тема 4. Основні квантові гейти та операції.	2	-	6			
Тема 5. Складені квантові системи та тензорні добутки.	2	2	6			
Тема 6. Ентангльмент (заплутаність).	2	2	6			
Тема 7. Квантове вимірювання.	2	-	6			
Змістовий модуль 2. Квантові алгоритми і протоколи						
Тема 8. Принципи квантових алгоритмів.	3	2	6	3	3	Поточне опитува-ння
Тема 9. Алгоритм Дойча – Джозі	2	-	6			
Тема 10. Алгоритм Гровера	2	2	6			
Тема 11. Алгоритм Шора для факторизації.	2	-	7			
Тема 12. Квантова телепортація.	2	-	6			
Тема 13. Квантові протоколи безпеки.	2	2	7			
Тема 14. Основи квантової корекції помилок.	2	2	6			
Тема 15. Сучасні квантові комп'ютери та перспективи.	3	2	7			
Разом	32	14	96	5	6	

4.2 Структура залікового кредиту дисципліни “Квантові обчислення” для ЗФН

	Кількість годин			
	Лекції	Лабораторні заняття	Самостійна робота	Контрольні заходи
Тема 1. Вступ до квантових обчислень. Основи квантової механіки для інформатики. Кубіти та представлення квантової інформації. Основні квантові гейти та операції.	2	1	34	Поточне опитування
Тема 2. Складені квантові системи та тензорні добутки. Ентангльмент (заплутаність). Квантове вимірювання.	2	1	35	
Тема 3. Принципи квантових алгоритмів. Алгоритм Дойча – Джозі. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора для факторизації.	2	1	34	
Тема 4. Квантова телепортація. Квантові протоколи безпеки. Основи квантової корекції помилок. Сучасні квантові комп'ютери та перспективи.	2	1	35	
Разом	8	4	138	

5. Тематика лабораторних робіт.

5.1 Тематика лабораторних робіт для ДФН.

Лабораторна робота №1

Тема: Ознайомлення з принципами квантових обчислень та середовищем моделювання квантових алгоритмів.

Мета роботи: Засвоїти базові поняття квантових обчислень, ознайомитися з інтерфейсом і можливостями квантового симулятора (наприклад, IBM Quantum Experience або Qiskit), навчитися створювати та виконувати прості квантові схеми.

Лабораторна робота № 2

Тема: Реалізація та аналіз станів одного кубіта.

Мета роботи: Навчитися описувати, створювати та візуалізувати стани одного кубіта; дослідити вплив базових квантових гейтів (Hadamard, Pauli-X, Y, Z) на стан кубіта та інтерпретувати результати вимірювань.

Лабораторна робота №3

Тема: Операції над складеними квантовими системами та тензорні добутки.

Мета роботи: Дослідити формування багатокубітних станів, ознайомитися з тензорним добутком станів і гейтів, навчитися реалізовувати квантові схеми з двома і більше кубітами.

Лабораторна робота № 4

Тема: Реалізація квантових гейтів та створення заплутаних станів (entanglement).

Мета роботи: Навчитися формувати заплутані стани, використовувати гейт CNOT та інші двокубітні операції; експериментально перевірити властивості заплутаності та їх відмінність від класичних кореляцій.

Лабораторна робота № 5

Тема: Реалізація базових квантових алгоритмів (алгоритм Дойча–Йожи).

Мета роботи: Дослідити перевагу квантового підходу при розв'язанні задач; реалізувати алгоритм Дойча–Йожи, проаналізувати результати його роботи та порівняти з класичним випадком.

Лабораторна робота №6

Тема: Реалізація квантового алгоритму пошуку Гровера.

Мета роботи: Ознайомитися з принципом амплітудного підсилення; створити квантову схему для алгоритму Гровера, змодельовати її роботу для невеликої бази даних та оцінити ефективність.

Лабораторна робота № 7

Тема: Реалізація квантового алгоритму Шора для факторизації чисел.

Мета роботи: Зрозуміти принципи квантового паралелізму і квантового перетворення Фур'є; змодельовати спрощений варіант алгоритму Шора, дослідити його структуру та значення для криптографії.

5.2 Тематика лабораторних робіт для ЗФН.

Лабораторна робота №1

Тема: Ознайомлення з принципами квантових обчислень та середовищем моделювання квантових алгоритмів. Реалізація та аналіз станів одного кубіта.

Мета роботи: Засвоїти базові поняття квантових обчислень, ознайомитися з інтерфейсом і можливостями квантового симулятора (наприклад, IBM Quantum Experience або Qiskit), навчитися створювати та виконувати прості квантові схеми. Навчитися описувати, створювати та візуалізувати стани одного кубіта; дослідити вплив базових квантових гейтів (Hadamard, Pauli-X, Y, Z) на стан кубіта та інтерпретувати результати вимірювань..

Лабораторна робота № 2

Тема: Операції над складеними квантовими системами та тензорні добутки. Реалізація квантових гейтів та створення заплутаних станів (entanglement).

Мета роботи: Дослідити формування багатокубітних станів, ознайомитися з тензорним добутком станів і гейтів, навчитися реалізовувати квантові схеми з двома і більше кубітами. Навчитися формувати заплутані стани, використовувати гейт CNOT та інші двокубітні операції; експериментально перевірити властивості заплутаності та їх відмінність від класичних кореляцій..

Лабораторна робота №3

Тема: Реалізація базових квантових алгоритмів (алгоритм Дойча–Йожи). Реалізація квантового алгоритму пошуку Гровера.

Мета роботи: Дослідити перевагу квантового підходу при розв'язанні задач; реалізувати алгоритм Дойча–Йожи, проаналізувати результати його роботи та порівняти з класичним випадком. Ознайомитися з принципом амплітудного підсилення; створити квантову схему для алгоритму Гровера, змодельовати її роботу для невеликої бази даних та оцінити ефективність.

Лабораторна робота №4

Тема: Реалізація квантового алгоритму Шора для факторизації чисел.

Мета роботи: Зрозуміти принципи квантового паралелізму і квантового перетворення Фур'є; змодельовати спрощений варіант алгоритму Шора, дослідити його структуру та значення для криптографії.

6. Тематика самостійної роботи студентів

На самостійну роботу кожному студенту пропонується написання і представлення реферату на запропоновану або самостійно вибрану тему. Орієнтовна тематика рефератів:

1. Історія становлення та розвитку квантових обчислень.
2. Принципи суперпозиції та заплутаності як основа квантових обчислень.
3. Квантова система як носій інформації: фізична інтерпретація кубіта.
4. Квантова механіка та її роль у формуванні концепції квантових обчислень.
5. Порівняння класичних і квантових обчислювальних моделей.
6. Основні постулати квантової теорії інформації.
7. Квантова інтерференція та її застосування в обчисленнях.
8. Проблема вимірювання в квантових системах.
9. Квантова логіка: теоретичні засади та математичний апарат.
10. Квантові обчислення як міждисциплінарна галузь науки.
11. Гільбертовий простір і представлення квантових станів.
12. Матриці щільності та їх застосування в квантових обчисленнях.
13. Унітарні оператори як модель квантових гейтів.
14. Тензорний добуток і опис багатокубітних систем.
15. Квантові оператори вимірювання та колапс стану.
16. Геометрична інтерпретація квантових станів: сфера Блоха.
17. Математичні методи опису квантових шумів і декогеренції.
18. Принцип лінійності еволюції квантових систем.
19. Квантові регістри та операції над ними.
20. Теореми Неймана і фон Неймана в контексті квантових інформаційних процесів.
21. Основні типи квантових гейтів: Pauli, Hadamard, Phase, T, CNOT.
22. Реалізація універсального набору квантових гейтів.
23. Побудова квантових схем та принцип унітарності.
24. Симуляція квантових схем у середовищі Qiskit.
25. Програмування квантових систем мовою Python (Qiskit, Cirq).
26. Оптимізація квантових схем та зменшення кількості гейтів.
27. Квантові операції з контролем (controlled operations).
28. Сучасні методи візуалізації квантових процесів.
29. Порівняння архітектур квантових процесорів різних виробників.
30. Квантова корекція помилок у логічних схемах.

31. Алгоритм Дойча–Йожи: теоретичне значення і практична реалізація.
32. Алгоритм Гровера для пошуку в неструктурованій базі даних.
33. Алгоритм Шора для факторизації чисел і його криптографічне значення.
34. Алгоритм квантового перетворення Фур'є (QFT).
35. Алгоритм Саймона та його вплив на розвиток квантової теорії обчислень.
36. Квантовий алгоритм Геллмана–Бабая для обчислення логарифмів.
37. Квантовий телепорт і передача квантового стану.
38. Квантовий пошук і його застосування у великих даних.
39. Квантовий машинний інтелект: концепції і методи.
40. Гібридні квантово-класичні алгоритми: підхід VQE і QAOA.
41. Квантові обчислення у криптографії: виклики та перспективи.
42. Постквантова криптографія: основні напрямки захисту.
43. Квантові алгоритми у задачах оптимізації.
44. Застосування квантових обчислень у моделюванні фізичних процесів.
45. Квантові обчислення в хімії та матеріалознавстві.
46. Квантові мережі та принципи квантового інтернету.
47. Технологічні платформи для реалізації кубітів: надпровідники, іонні пастки, фотонні системи.
48. Проблема декогеренції та методи її мінімізації.
49. Етичні та філософські аспекти розвитку квантових технологій.
50. Перспективи розвитку квантових обчислень у науці та промисловості.

7. Організація та проведення тренінгу з дисципліни «Квантові обчислення»

Тематика тренінгу: аналіз, застосування і практична реалізація елементів квантових обчислень.

Цей тренінг охоплює ключові аспекти квантових обчислень, поєднуючи теоретичні знання з практичними навичками. Здобувачі отримають практичні навички роботи з різноманітними програмними середовищами та апаратним забезпеченням.

Мета тренінгу: забезпечити здобувачів комплексними теоретичними знаннями та практичними навичками в галузі квантових обчислень, підготувавши їх до ефективної фахової діяльності у сучасному цифровому середовищі.

Орієнтовний перелік завдань для тренінгу:

1. Роль принципу суперпозиції у квантових обчисленнях.
2. Побудувати логічну схему для реалізації операцій NOT, AND, OR у квантовому еквіваленті.
3. Аналіз процесу вимірювання в квантовій системі та його наслідки для збереження інформації.
4. Роль запутаності у квантових комунікаціях.
5. Концептуальна модель квантового регістру для системи з трьох кубітів.
6. Аналіз квантової інтерференції на прикладі алгоритму Дойча–Йожи.
7. Порівняння квантових та класичних методів пошуку в базі даних.
8. Аналітичний огляд сучасних підходів до побудови квантових логічних елементів.
9. Реалізувати векторне представлення квантового стану кубіта у вигляді матриці.
10. Побудувати сферу Блоха для візуалізації станів $|0\rangle$, $|1\rangle$, $|+\rangle$, $|-\rangle$.
11. Задати унітарну матрицю для гейта Адамара та перевірити її властивості.
12. Обчислити дію квантового гейта CNOT на систему з двох кубітів.
13. Змодельовати еволюцію стану кубіта під дією фазового зсуву.
14. Обчислити густину ймовірності для результатів вимірювання суперпозиційного стану.
15. Провести моделювання колапсу хвильової функції після вимірювання.
16. Побудувати матрицю тензорного добутку двох кубітів і визначити, чи є система запутаною.
17. Дослідити унітарні перетворення на багатокубітній системі.
18. Розрахувати параметри шуму та декогеренції у квантовій системі.
19. Створити програму для симуляції одного кубіта з гейтом Адамара.
20. Реалізувати алгоритм Дойча–Йожи у середовищі Qiskit.
21. Реалізувати алгоритм Гровера для пошуку елемента в базі даних.
22. Протестувати алгоритм Шора на малих числах (наприклад, факторизація 15).

23. Реалізувати квантовий телепорт у програмному середовищі.
24. Здійснити моделювання квантового переплутування двох кубітів.
25. Побудувати візуалізацію результатів квантового вимірювання у вигляді гістограми.
26. Розробити гібридну квантово-класичну модель (VQE або QAOA).
27. Виконати порівняння результатів симуляції на класичному процесорі та реальному квантовому пристрої (IBM Quantum Experience).
28. Оцінити вплив шумів на точність роботи квантових алгоритмів.
29. Побудувати схему квантового каналу для безпечної передачі інформації.
30. Змоделювати процес квантової криптографії (QKD-протокол BB84).
31. Провести дослідження можливостей квантових обчислень у хімії.
32. Визначити перспективи застосування квантових обчислень у штучному інтелекті.
33. Провести порівняння архітектур квантових комп'ютерів IBM, Google та IonQ.
34. Проаналізувати стратегії квантової корекції помилок.
35. Розробити концепцію квантової мережі для обміну ключами.
36. Підготувати звіт-дослідження про перспективи розвитку квантових обчислень в Україні.

Порядок проведення тренінгу:

Вступна частина проводиться з метою ознайомлення здобувачів із запропонованими завданнями тренінгу.

Організаційна частина полягає у створенні робочого настрою у колективі здобувачів.

Практична частина реалізується шляхом виконання одного вибраного завдання тренінгу.

Підведення підсумків. Обговорення результатів виконаних завдань. Обмін думками з питань, що виносились на тренінг.

8. Методи навчання.

У навчальному процесі застосовуються: лекції, в тому числі з використання мультимедійного проектора та інших ТЗН; лабораторні роботи, індивідуальні заняття; самостійна робота здобувачів, робота в Інтернет.

9. Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

У процесі вивчення дисципліни “Квантові обчислення” використовуються наступні методи оцінювання навчальної роботи здобувачів:

- поточне опитування;
- підсумковий модульний контроль за кожним змістовним модулем;
- оцінювання виконання лабораторних робіт;
- оцінювання тренінгів;
- оцінювання результатів самостійної роботи;
- підсумковий екзамен.

10. Політика оцінювання

Політика щодо дедлайнів і перескладання. Для виконання усіх видів завдань здобувачами і проведення контрольних заходів встановлюються конкретні терміни. Перескладання модулів проводиться в установленому порядку.

Політика щодо академічної доброчесності. Списування під час проведення контрольних заходів заборонені. Під час контрольного заходу здобувач може користуватися лише дозволеними допоміжними матеріалами або засобами, йому забороняється в будь-якій формі обмінюватися інформацією з іншими здобувачами, використовувати, розповсюджувати, збирати варіанти контрольних завдань.

Політика щодо відвідування. За об'єктивних причин (наприклад, карантин, воєнний стан, хвороба, закордонне стажування) навчання може відбуватись в дистанційній формі за погодженням із керівником курсу з дозволу дирекції факультету.

11. Критерії, форми поточного та підсумкового контролю

Підсумковий бал (за 100 – бальною шкалою) з дисципліни “Квантові обчислення” визначається як середньозважена величина, в залежності від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Модуль 1		Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
20%	20%	5%	15%	40%
Поточне оцінювання	Модульний контроль	Тренінги	Самостійна робота	Екзамен
Оцінка за даний модуль визначається як середнє арифметичне з оцінок, отриманих за виконання та захист лабораторних робіт.	Підсумкова письмова робота за темами №1-15.	Оцінка за виконання та представлення одного вибраного завдання тренінгу	Оцінка за виконаний і представлений реферат на вибрану тему.	1. Теоретичні питання: 2 питання по 30 балів - тах 60 балів. 2. Практичне завдання - тах 40 балів

Поточне оцінювання під час заняття:

90–100 балів – у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає під час відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань;

75–89 балів – достатньо повно володіє навчальним матеріалом, але при викладанні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки;

65–74 бали – в цілому володіє навчальним матеріалом та викладає його основний зміст, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допускаючи при цьому окремі суттєві неточності та помилки;

60–64 бали – не в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, фрагментарно (без аргументації та обґрунтування) його викладає, недостатньо розкриває зміст теоретичних питань, допускаючи при цьому суттєві неточності;

1–59 балів – не володіє навчальним матеріалом, не розкриває зміст теоретичних питань. Підсумкова оцінка за поточне опитування кожного модуля визначається як середнє арифметичне оцінок, отриманих під час занять в межах кожного модуля.

Тренінг:

90–100 балів – у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самостійно та аргументовано його використовує під час розв'язування задач тренінгу;

75–89 балів – достатньо повно володіє навчальним матеріалом, але при розв'язуванні окремих задач тренінгу не вистачає достатньої глибини та аргументації його використання, допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки;

65–74 бали – в цілому володіє навчальним матеріалом та загалом його використовує при розв'язування задач тренінгу, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допускаючи при цьому суттєві неточності та помилки;

60–64 бали – не в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, фрагментарно (без аргументації та обґрунтування) його використовує, частково розв'язуючи задачі тренінгу, допускаючи при цьому суттєві неточності;

1–59 – не володіє навчальним матеріалом, не розв'язує задачі тренінгу, не бере участі у колективних завданнях під час проведення тренінгу.

Самостійна робота:

90–100 балів – зміст та захист реферату свідчить про високий рівень опанування навчального матеріалу, реферат містить елементи самостійного дослідження, студент на високому рівні виявляє творчий підхід до виконання завдань;

75–89 балів – зміст та захист реферату загалом свідчить про належний рівень опанування навчального матеріалу, можуть бути несуттєві недопрацювання, студент належно виявляє творчий підхід до виконання завдань;

60–74 балів – поставлені завдання виконані на недостатньому рівні; наведені авторські напрацювання є загальними і слабо обґрунтованими, свідчать про недостатній рівень опанування навчального матеріалу; студент припускається значних помилок у виконанні завдань, в окремих моментах виявляє творчий підхід до виконання завдань;

1–59 балів – завдання практично не виконані; відсутні авторські напрацювання; грубі помилки у вирішенні завдань роботи, що свідчать про низький рівень опанування навчального матеріалу; студент не виявляє творчого підходу до виконання завдань.

Модульна робота, екзамен – види контролю, при яких засвоєння студентом теоретичного та практичного матеріалу оцінюється від 0 до 100 балів як сума балів за виконані завдання. Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань, за кожне з яких можна отримати від 0 до 30 балів, що в підсумку дає максимально 60 балів, та однієї практичної задачі, за яку можна отримати від 0 до 40 балів. За теоретичне питання студент отримує 15–30 балів, якщо у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, всебічно, самостійно та аргументовано його викладає під час відповіді, глибоко та всебічно розкриває зміст завдання, і 1–14 балів – якщо в цілому володіє навчальним матеріалом, але не в повному обсязі, фрагментарно (без аргументації та обґрунтування) його викладає, недостатньо розкриває зміст завдання, допускаючи при цьому суттєві неточності, відповіді на запитання нечіткі. За практичну задачу студент отримує 25–40 балів, якщо у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, правильно розв’язує практичну задачу і інтерпретує отримані результати, демонструє самостійність виконання; 10–24 балів – у достатньому обсязі володіє навчальним матеріалом, правильно розв’язує практичну задачу, але на додаткові контрольні запитання відсутня повна відповідь, допускає несуттєві неточності та фрагментарно (без аргументації) інтерпретує отримані результати, демонструє самостійність виконання; 1–9 балів – не в повному обсязі володіє матеріалом, фрагментарно розв’язує практичне завдання, допускає суттєві неточності, поверхнево його викладає, недостатньо розкриває зміст поставлених питань.

Шкала оцінювання:

За шкалою ЗУНУ	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90-100	відмінно	A (відмінно)
85-89	добре	B (дуже добре)
75-84		C (добре)
65-74	задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35-59	незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1-34		F (незадовільно з обов’язковим повторним курсом)

12. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

№	Найменування	Номер теми
1	Мультимедійний проектор та проєкційний екран	1 -15
2	Персональні комп’ютери	1 -15
3	Комунікаційне програмне забезпечення (Zoom) для проведення занять у режимі он-лайн (за необхідності)	1 -15
4	Комунікаційна навчальна платформа (Moodle) для організації дистанційного навчання (за необхідності)	1 -15
5	Наявність доступу до мережі Інтернет	1 -15
6	Python, Qiskit, Cirq, Quipper, ProjectQ, PyQuil, QuTIP, IBM Quantum Experience.	1-15

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. *Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition*. Cambridge University Press, 2017.
2. Shohini Ghose. *Quantum Computing: An Applied Approach*. Springer, 2023.
3. Chris Bernhardt. *Quantum Computing for Everyone*. MIT Press, 2019.
4. Thomas G. Draper. *Introduction to Quantum Algorithms via Linear Algebra*. Springer, 2021.
5. Phillip Kaye, Raymond Laflamme, and Michele Mosca. *An Introduction to Quantum Computing*. Updated edition, Oxford University Press, 2023.
6. Nathalie D. Schilling. *Quantum Computing: From Linear Algebra to Physical Realizations*. Wiley, 2020.
7. Mingsheng Ying. *Foundations of Quantum Programming*. Morgan Kaufmann, 2021.
8. Qiskit Textbook (The IBM Quantum Experience Team). *Learn Quantum Computation using Qiskit*. Open Source, останнє оновлення: 2024. <https://qiskit.org/textbook>
9. Jack D. Hidary. *Quantum Computing: An Applied Introduction*. Springer, 2nd edition, 2022.
10. Cirq Documentation & Tutorials. Google AI Quantum Team. <https://quantumai.google/cirq>
11. Robert Lored, Paul Nation, and James Wootton. *Programming Quantum Computers with Qiskit*. O'Reilly Media, 2023.
12. Microsoft Quantum Team. *Q# and the Quantum Development Kit Documentation*. Microsoft Docs, 2023. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/>
13. Montanaro, A. *Quantum algorithms: an overview*. *Quantum Information*, 2, 15023 (2016) — оновлено у 2020.
14. Preskill, J. *Quantum Computing in the NISQ era and beyond*. *Quantum*, 2, 79 (2018).
15. Aaronson, S. *The Future of Quantum Computing*. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 2022.
16. Zhao, R., et al. *Quantum Machine Learning: An Overview*. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2023.
17. Bharti, K., et al. *Noisy Intermediate-Scale Quantum Algorithms*. *Reviews of Modern Physics*, 2022.
18. IBM Quantum Blog / Research Publications. <https://research.ibm.com/blog/quantum>
19. D-Wave Systems – White Papers. <https://www.dwavesys.com/resources>
20. MIT OpenCourseWare: Quantum Computation. <https://ocw.mit.edu/courses/6-845-quantum-complexity-theory/> Курси професора Скотта Ааронсона.