



Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень. Курсова робота.

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістр)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>F2 Інженерія програмного забезпечення</i>
Освітня програма	<i>Інженерія квантового програмного забезпечення</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, 1 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>1 кредит</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>курсова робота/захист курсової роботи, залік</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на осінній семестр поточного навчального року (rozklad.kpi.ua)</i>
Мова викладання	<i>Українська, англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>професор Жаріков Е.В., асистент Нагорний М.Ю.</i>
Розміщення курсу	<i>Moodle, Кампус https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=8083</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Метою навчальної дисципліни «Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень. Курсова робота» є закріплення, поглиблення, узагальнення теоретичних знань та практичних навичок, які отримують студенти під час вивчення дисципліни «Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень».

Курсова робота – самостійне дослідження, присвячене аналізу задачі, розробленню її моделі, розробленню алгоритму та аналізу його складності. Курсова робота є діяльністю з підготовки майбутніх фахівців до розв'язання практичних задач. Це один із видів навчальної роботи, в якій студенти повною мірою виявляють і розвивають свої здібності, здатність до аналітичного мислення. Написання курсової роботи є обов'язковою складовою навчального процесу у підготовці магістрів за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» освітньої програми «Інженерія квантового програмного забезпечення». У процесі написання роботи під керівництвом викладачів кафедри студенти мають можливість закріпити на практиці вміння:

- аналізувати предметне середовище, виконувати постановку задачі;
- формалізувати задачу;
- розробляти класичний алгоритм розв'язання задачі;
- розробляти квантовий алгоритм розв'язання задачі;
- розробляти квантову схему алгоритму;
- реалізовувати квантову схему у вибраному середовищі симуляції;
- аналізувати роботу розроблених алгоритмів.

Предмет навчальної дисципліни «Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень. Курсова робота» – моделі і методи квантових обчислень для розроблення квантових алгоритмів розв'язання оптимізаційних задач.

Мета навчальної дисципліни.

Метою навчальної дисципліни є оволодіння знаннями класичних квантових алгоритмів та методами розробки квантових алгоритмів для розв'язання прикладних задач.

В результаті освоєння дисципліни повинні бути сформовані такі компетентності.

Інтегральна компетентність – здатність розв'язувати практичні задачі з допомогою квантових алгоритмів, що характеризується підвищеною складністю із застосуванням теорії та методів квантових обчислень.

Дисципліна формує та закріплює у здобувачів такі загальні та спеціальні (фахові) компетентності: ЗК 01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК 02. Здатність спілкуватися іноземною мовою як усно, так і письмово. ЗК 05. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ФК10 Здатність розробляти, аналізувати та оптимізувати квантові алгоритми для вирішення прикладних завдань з урахуванням специфіки квантових обчислювальних моделей (одно- та багатобітних операцій, унітарних перетворень, вимірювань). ФК11. Здатність самостійно формулювати прикладне завдання, яке потребує застосування квантового обчислювального підходу, та реалізовувати його алгоритмічне вирішення з використанням засобів і методів квантових обчислень.

Основні завдання навчальної дисципліни.

Завданням навчальної дисципліни «Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень. Курсова робота» є:

- набуття знань в областях програмування, володіння алгоритмічним мисленням, методами та моделями квантових обчислень для реалізації квантових алгоритмів;
- формування навичок формалізації задач, розроблення квантових алгоритмів та схем, реалізації квантових схем у вибраному симуляторі, застосовування інструментальних засобів моделювання та симуляції квантових алгоритмів;
- формування навичок аналізу ефективності роботи квантових алгоритмів.

Написання курсової роботи сприяє формуванню творчого мислення студента, проведенню аналізу та вибору потрібних літературних джерел з вибраної теми, вмінню формулювати висновки.

Результати навчання, на формування та покращення яких спрямована дисципліна: ПРН18 Вміти проєктувати та застосовувати квантові алгоритми, в тому числі Шора, Гровера, Дойча, VQE, QAOA, та оцінювати їх складність, ефективність і придатність до реалізації на сучасних квантових комп'ютерах або симуляторах. ПРН 19. Розробляти квантові алгоритми та застосовувати на практиці сучасні засоби побудови квантових алгоритмів для вирішення конкретного прикладного завдання, обґрунтовувати вибір алгоритмічних підходів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізитами є: знання Python, основи алгоритмів та структур даних, розуміння часової та просторової складності, знання лінійної алгебри та математичний аналізу. Отримані в результаті засвоєння дисципліни «Алгоритмічне забезпечення квантових обчислень. Курсова робота» теоретичні знання та практичні уміння можуть бути корисні для проведення наукових досліджень за темою магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Основні типові етапи виконання курсової роботи складається з етапів, наведених в таблиці 1.

Таблиця 1 – Етапи написання курсової роботи

Найменування	Результат	Години
Підготовчий етап	Узгоджене завдання на курсову роботу керівником та виконавцем	1
Виконавчий етап	Розділи курсової роботи	26
– огляд предметної області, огляд джерел даних, постановка задачі; – розроблення моделі; – розроблення класичного алгоритму розв'язання задачі; – розроблення квантового алгоритму розв'язання задачі; – розроблення квантової схеми алгоритму; – реалізація квантової схеми у вибраному середовищі симуляції;		

– аналіз роботи розроблених алгоритмів.		
Підготовка пояснювальної записки та доповіді	Пояснювальна записка та презентація	3
Захист курсової роботи комісії		

Теми завдань обираються студентами самостійно і погоджуються з викладачем. Приклади тем наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Теми курсової роботи

Тема	Варіанти класичних алгоритмів	Варіанти квантових алгоритмів	Варіант и засобів симуляції	Приклад вихідних даних	Метрики для порівняння алгоритмів
Маршрутизація доставок з часовими вікнами (VRPTW) для останньої милі	OR-Tools (CP-SAT), табу пошук, генетичні алгоритми, локальний пошук	QUBO-формалізація + QAOA (або квантовий відпал)	Qiskit / PennyLane	бенчмарки Solomon	сумарна довжина, штраф за запізнення, кількість порушень, час, глибина схеми, імовірність найкращого розв'язку
Розклад Job-Shop (JSSP) з мінімізацією кількості швів (makespan)	дис'юнктивні і графи, CP-SAT, MILP, евристики (Tabu, SA)	QUBO з жорсткими/м'яким и обмеженнями + QAOA	Qiskit	Taillard/FT06/FT10	Кількість швів, частка фезибельних запусків, якість - глибина, масштабованість з кількістю робіт/верстатів
Розклад медперсоналу (Nurse Rostering) з жорсткими та м'якими	CP-SAT/MILP, Large Neighborhood Search	QUBO + QAOA (штрафи за порушення), або Grover для пошуку фезибельних	Qiskit / PennyLane	INRC-II	сумарний штраф, фезибельність, стабільність результатів, час

правилами					
Розклад іспитів/аудиторій	графове фарбування, ILP, CP, DSATUR, меметичні	QAOA для графового фарбування (QUBO), варіанти з м'якими штрафами	Qiskit	ITC 2007/2019	кількість конфліктів, штрафи за рознесення, місткість, кореляція з класичним ранжуванням
Розміщення об'єктів (Facility Location / p-median, UFLP) для роздрібної мережі	MILP (Benders), евристики	QUBO + QAOA/відпал; варіант з бюджетними обмеженнями	Qiskit	OR-Library (pmed, ufl)	сумарна вартість обслуговування, кількість відкритих об'єктів, збіжність
Спрощений Unit Commitment для теплових блоків в енергетиці	MILP, динамічне програмування, евристики (мінімальні простої, пуски, резерви)	QUBO + QAOA з штрафами за дисбаланс потужності та резервів	Qiskit	невеликі синтетичні UC-еталонні тести (benchmark)	паливні витрати, виконання обмежень, розмір/глибина схеми, стабільність
Пакування/розкрий (Bin Packing / Cutting Stock) у виробництві	FFD, Best-Fit, MILP, колонна генерація	QUBO + QAOA; альтернативно Grover для пошуку покращень	PennyLane / Qiskit	Scholl / OR-Library	кількість корзин/відходів, частка можливих потенційних рішень, час, масштабованість
Квадратичне призначення (QAP) для планування цеху або розміщення обладнання	MILP-релаксації, табу пошук, SA	QUBO + QAOA; дослідження різних анзаців і шкал штрафів	Qiskit	Nugent (nug12–nug20)	вартість потоку, розрив до оптимуму, стабільність, глибина
Частотне планування в бездротових мережах (Frequency Assignment)	графове фарбування, ILP, евристики DSATUR	QAOA для забарвлення/мінімізації інтерференції (QUBO)	Qiskit	DIMACS / синтетичні сітки	кількість частот, сумарна інтерференція, коректність, час, ресурси
Оптимізація пакетування	дворівневі евристики	QUBO для пакетних задач /	PennyLane /	синтетичні макети складів	сумарний шлях, час

замовлень і маршрутів у складі (Order Batching + Picker Routing)	(кластеризація + TSP), CP-SAT, MILP	послідовності + QAOA; комбінування з класичним локальним пошуком	Qiskit		комплектування, порушення місткості, чутливість до шуму
--	-------------------------------------	--	--------	--	---

Декілька додаткових тем:

- квантовий PageRank на малих веб-графах;
- Quantum PCA/аналітика коваріаційні матриці для виявлення аномалій;
- квантовий k-means (q-means) для кластеризації невеликих датасетів;
- визначення основного стану молекули H₂/LiH методом VQE;
- розв’язання розріджених лінійних систем $Ax=b$;
- Max-Cut на реальному графі (напр., підграф соціальної мережі).

Матеріали для вивчення дисципліни розміщені викладачем у системі Moodle платформи дистанційного навчання «Сікорський». Матеріали доступні з мережі Інтернет зареєстрованому на курс слухачеві. Навчальний курс у системі Moodle складається з розділів, кожний з яких містить корисні матеріали, URL-посилання на документацію з програмного забезпечення та навчальний матеріал для самостійної роботи.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Hidary, J. D. (2021). *Quantum computing: an applied approach* (Vol. 1). Cham, Switzerland: Springer.
2. Hundt, R. (2022). *Quantum computing for programmers*. Cambridge University Press.
3. Lipton, R. J., & Regan, K. W. (2021). *Introduction to quantum algorithms via linear algebra*. MIT Press.
4. Vos, J. (2022). *Quantum computing in action*. Manning Publications Co.
5. Computing, I. (2023). The Quantum Advantage. *Interference: The History of Optical Interferometry and the Scientists Who Tamed Light*, 359.
6. Rieffel, E. G., & Polak, W. H. (2011). *Quantum computing: A gentle introduction*. MIT press.
7. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge university press.

Додаткова література

1. Wong, H. Y. (2023). *Introduction to quantum computing: from a layperson to a programmer in 30 steps*. Springer Nature.
2. Chang, W. L., & Vasilakos, A. V. (2021). *Fundamentals of Quantum Programming in IBM's Quantum Computers*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
3. Pittenger, A. O. (2012). *An introduction to quantum computing algorithms* (Vol. 19). Springer Science & Business Media.
4. Strubell, E. (2011). An introduction to quantum algorithms. *COS498 Chawathe Spring, 13*, 19.

5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Форми організації освітнього процесу, види навчальних занять і оцінювання результатів навчання регламентуються положенням про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Політика виставлення оцінок: кожна оцінка виставляється відповідно до розроблених викладачем та заздалегідь оголошених здобувачам критеріїв, а також мотивується в індивідуальному порядку на вимогу здобувача.

Відвідування занять є обов'язковим (за винятком випадків, коли існує поважна причина). Якщо здобувач не може бути присутнім на заняттях, він все одно несе відповідальність за вивчення матеріалу та виконання лабораторних робіт.

Політика академічної поведінки та доброчесності: конфліктні ситуації мають відкрито обговорюватись в академічних групах з викладачем, необхідно бути взаємно толерантним, поважати думку іншого. Плагіат та інші форми нечесної роботи неприпустимі. Всі лабораторні завдання здобувач має виконати самостійно із використанням рекомендованої літератури й отриманих знань та навичок. Цитування в письмових роботах допускається тільки із відповідним посиланням на авторський текст. Недопустимі підказки і списування у ході захисту курсової роботи.

Норми академічної етики: дисциплінованість; дотримання субординації; чесність; відповідальність; робота в аудиторії з відключеними мобільними телефонами. Повага один до одного дає можливість ефективніше досягати поставлених командних результатів. Якщо використовується ноутбук чи телефон для аудіо- чи відеозапису, необхідно заздалегідь отримати дозвіл викладача.

Дотримання академічної доброчесності здобувачами та викладачами регламентується кодексом честі КПІ ім. Ігоря Сікорського, положенням про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

6. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: перевірка дотримання графіку виконання календарного плану курсової роботи.

Календарний контроль: проводиться двічі за семестр як моніторинг виконання календарного плану курсової роботи.

Семестровий контроль: залік.

Керівник здійснює контроль за ходом виконання студентом курсової роботи, надає йому необхідну консультативну допомогу. Протягом семестру студент демонструє викладачу поточні результати роботи над курсовою роботою. Після перевірки роботи викладач призначає день, час і місце захисту.

Напередодні захисту студенту необхідно повторити теоретичний матеріал, що стосується роботи, та переглянути безпосередньо її зміст. Захист курсової роботи

проводиться у формі співбесіди зі з'ясуванням усіх питань, що виникли у керівника під час перевірки роботи. За результатами захисту, у відповідності до критеріїв оцінювання викладачі виставляють студенту оцінку.

На оцінку з курсової роботи впливають:

- якість та повнота представлення розроблених моделей та алгоритмів;
- якість розробленої документації, тексту роботи та її структурних елементів;
- компетентність та загальна ерудиція студента при відповідях на запитання під час захисту;
- дотримання графіку підготовки курсової роботи.

Якщо студент подав на захист не самостійно виконану роботу, про що свідчить його некомпетентність у рішеннях та матеріалах роботи, курсова робота до захисту не допускається, що супроводжується записом "не допущений" у заліковій відомості. Такий самий запис робиться у випадку, якщо курсова робота не завершена на час захисту. У цих випадках запис "не допущений" еквівалентний отриманню оцінки "незадовільно".

Рейтингова оцінка з курсової роботи має дві складові: виконання курсової роботи та її захист. Перша (стартова) складова характеризує роботу студента з курсового проектування та її результат – якість та зміст пояснювальної записки; друга складова характеризує якість захисту студентом курсової роботи. Розмір шкали першої складової дорівнює 80 балів, а другої – 20 балів.

Система рейтингових балів

Стартова складова виконання курсової роботи (r1):

- ступінь розкриття теоретичних аспектів теми та коректність використання понятійного апарату – до 5 балів;
- повнота та коректність аналізу предметної області – до 15 балів;
- обґрунтування обраних методів побудови моделей – до 15 балів.
- застосування та дослідження ефективності обраних методів – до 35 балів, враховується: складність задачі; наявність класичного та квантового алгоритмів; наявність моделі; наявність та правильність квантової схеми алгоритму; опис процесу реалізації квантової схеми у вибраному середовищі симуляції; наявність результатів аналізу роботи розроблених алгоритмів.
- якість оформлення пояснювальної записки з урахуванням виконання вимог нормативних документів – до 10 балів;

Складова захисту курсової роботи (r2):

- ступінь володіння теоретичним матеріалом – до 5 балів;
- презентація роботи та відповіді на запитання – до 15 балів.

Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою показана у таблиці 3.

Таблиця 3 – Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

$R = r1 + r2$	Оцінка
100-95	Відмінно

94-85	Добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Задовільно
Менше 60	Незадовільно

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: д.т.н., професор Жаріков Е.В.

Ухвалено кафедрою інформатики та програмної інженерії (протокол № 16 від 23.06.2025 р.)

Погоджено методичною комісією факультету (протокол № 11 від 27.06.2025 р.)