



Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра інформатики та
програмної інженерії

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	F Інформаційні технології
Спеціальність	F2 Інженерія програмного забезпечення
Освітня програма	Інженерія квантового програмного забезпечення
Статус дисципліни	Обов'язкова (нормативна)
Форма навчання	Очна(денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	120 годин (32 години – Лекції, 14 годин – Лабораторні, 74 години – СРС)/ 4 кредити ЄКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік, МКР, захист лабораторних робіт
Розклад занять	Детальний розклад - http://my.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент, Ліщук Катерина Ігорівна, lishchuk_kpi@ukr.net , Лабораторні заняття: к.т.н., доцент, Ліщук Катерина Ігорівна, lishchuk_kpi@ukr.net
Розміщення курсу	http://do.ipu.kpi.ua Код курсу: x065qk

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус освітнього компонента «Програмне забезпечення квантових обчислень» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів «Інженерія квантового програмного забезпечення» спеціальності F2 – Інженерія програмного забезпечення.

Метою навчальної дисципліни є формування у здобувачів системного розуміння принципів та інструментів розроблення квантового програмного забезпечення, формування практичних навичок використання сучасних SDK та хмарних платформ при розробці квантового програмного забезпечення. На лабораторних заняттях студенти опанують декілька фреймворків, котрі використовуються для розроблення квантового програмного забезпечення. В курсі передбачений контроль якості отриманих знань у вигляді модульної контрольної роботи.

Предмет навчальної дисципліни: методи та підходи, що використовуються при розробці квантового програмного забезпечення.

Основні завдання навчальної дисципліни

Знання:

- формування у студентів умінь та навичок ставити задачі аналізу і синтезу квантового програмного забезпечення.

Уміння:

- знаходити найбільш ефективний квантовий алгоритм для розв'язання поставленої задачі;
- застосовувати відкриті SDK для розробки та тестування квантових програм;
- застосовувати отримані знання для симулювання квантових схем на логічному рівні.

Після проходження дисципліни студенти зможуть розробляти та досліджувати квантове програмне забезпечення, обирати необхідні технології для створення квантових програмних систем .

Дисципліна формує наступні загальні (ЗК) та фахові (ФК) **компетентності**:

- ФК 13 - Здатність розробляти програмне забезпечення для квантових обчислень із використанням сучасних фреймворків та мов з урахуванням обмежень квантових архітектур.

В результаті вивчення дисципліни студенти досягають наступних **програмних результатів навчання (ПРН)**:

- ПРН 21 - Володіти практичними навичками написання та тестування квантових програм з використанням відкритих SDK, застосовувати отримані знання для симулювання та відлагодження квантових обчислень.

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

При вивченні цієї дисципліни використовуються знання, отримані студентами за результати вивчення наступних дисциплін:

- Лінійна алгебра
- Теорія ймовірностей
- Програмування

Знання, одержані студентами при вивченні дисципліни, використовуються у наступних освітніх компонентах:

- ПО 01 Наукова робота за темою магістерської дисертації
- ПО 02 Практика
- ПО 03 Виконання магістерської дисертації
- ПО 04 Методологія інженерії програмного

3. Зміст навчальної дисципліни

Лекційні заняття

Тема 1. Елементи квантової інформатики.

Тема 2. Квантові алгоритми.

Тема 3. Інструменти квантових обчислень.

Лабораторні заняття

ЛР1. Симулятор квантових схем IBM Quantum. Реалізація та тестування основних операції при створенні квантових схем.

ЛР2. Qiskit. Базові операції.

ЛР3. Основи програмування базових операцій у Q#.

ЛР4. Симулятор квантових схем IBM Quantum. Створення квантових алгоритмів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Остапов С.Е., Добровольський Ю.Г. Квантова інформатика та квантові обчислення / С.Е.Остапов. Ю.Г. Добровольський - Чернівці: ЧНУ, 2021. - 99 с. <https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2830/QuantumComputing.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Крохмальський Т.Є. Вступ до квантових обчислень – Львів:ЛНУ, 2018. – 204с. <http://ktf.lnu.edu.ua/books/Krokhmalskii-VKO.pdf>
3. Карлаш Г.Ю. Квантові інформаційні системи. – Київ: факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2018. – 77 с. https://rex.knu.ua/wp/wp-content/uploads/2018/05/QIS_Karlash.pdf
4. Nielsen, M. A., and Chuang, I. L. (2020). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge: Cambridge University Press. - <https://profmcrux.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/08/quantum-computation-and-quantum-information-nielsen-chuang.pdf>
5. Bernhardt C. Quantum computing for everyone . - Cambridge, MA: The MIT Press, 2019. – 194 p https://github.com/shyamsantoki/Qubit_Quantumam

Computing_Notes/blob/main/Quantum%20computing%20for%20everyone%20by%20Bernhardt%2C%20Chris%20(z-lib.org).pdf

Допоміжна література

1. D. McMahon. Quantum computing explained./ D. McMahon – Wiley-Interscience, 2018. – 332p
2. Kaye P., Laflamme R., Mosca M. An Introduction to Quantum Computing. Oxford : Oxford University Press, 2007. 264 p.
3. Rieffel E., Polak W. Quantum Computing: A Gentle Introduction. Cambridge, MA : MIT Press, 2011. 356 p.
4. Mermin N. D. Quantum Computer Science: An Introduction. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. 240 p.
5. Sutor R. S. Dancing with Qubits: How quantum computing works and how it can change the world. Birmingham : Packt, 2019. 570 p.
6. The Qiskit Textbook [Електронний ресурс]. Режим доступу: qiskit.org/textbook
7. Learn Quantum Computation using Qiskit (2nd ed.) [Електронний ресурс]. Режим доступу: learning.qiskit.org
8. Microsoft Learn: Quantum computing learning paths [Електронний ресурс]. Режим доступу: learn.microsoft.com/training/browse/?terms=quantum

Для викладання дисципліни необхідні наступні ресурси:

- в лекційній аудиторії має бути комп'ютер з доступом до мережі інтернет, а також проектор;
- в аудиторії, де проводяться лабораторні роботи, мають бути робочі станції з доступом до мережі інтернет і браузерами, в кількості студентів у групі, для проходження модульної контрольної роботи.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Теми лекцій та перелік основних питань неведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань
1	Структура та зміст курсу. РСО. Вступ в дисципліну. <u>Основні питання:</u> Структура курсу. Ознайомлення з РСО. Основні питання, які розглядаються в курсі. Основні поняття квантових обчислень. Порівняння класичних та квантових парадигм. Архітектури квантових комп'ютерів
2	Елементи квантової інформатики. <u>Основні питання:</u> Математичний апарат квантових обчислень: вектори стану та матриці, лінійні оператори та унітарні перетворення, основи квантової лінійної алгебри
3	Квантові алгоритми.

	<u>Основні питання:</u> Основи програмування квантових алгоритмів; представлення кубітів та квантових регістрів, вимірювання та суперпозиція. Квантові біти(кубіти). Однокубітні гейти (венти́лі). Багатокубітні гейти. Переплутані стани.
4	Квантові алгоритми. <u>Основні питання:</u> Створення квантових схем, симуляція та тестування квантових схем.
5	Квантові алгоритми. <u>Основні питання:</u> Алгоритм Дойча. Пошук у невідсортованій базі даних. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора.
6	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Ознайомлення з платформами Qiskit, Cirq, Q#, IBM Quantum Experience. Мови програмування для квантових обчислень.
7	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Один кубіт у Qiskit: X, H, Z; суперпозиція; вимірювання
8	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Один кубіт у Q#: операції H, X
9	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Два кубіти та CNOT у Qiskit
10	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Два кубіти та CNOT у Q#
11	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Алгоритм Дойча у Qiskit.
12	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Алгоритм Дойча у Q#
13	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Телепортація в Qiskit/Q#
14	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Системне програмне забезпечення для квантових обчислень, Хмарні квантові сервіси, Безпека та квантові обчислення
15	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Тестування та відлагодження квантових програм: засоби налагодження в Qiskit, Cirq; методи верифікації алгоритмів; відмовостійкість і виявлення помилок.
16	Інструменти квантових обчислень. <u>Основні питання:</u> Перспективи розвитку програмного забезпечення для квантових обчислень

Тематика лабораторних робіт та практичних занять

№	Назва лабораторної роботи	Кількість годин
1	Симулятор квантових схем IBM Quantum. Реалізація та тестування основних операцій при створенні квантових схем. <u>Мета роботи:</u> - отримання навичок створення та тестування квантових схем у симуляторі IBM Quantum - навчитись створювати квантові схеми з використанням однокубітних гейтів - реалізовувати кубіти в станах з довільними амплітудами ймовірності кожного стану	2
2	Qiskit. Базові операції.	4

	<u>Мета роботи:</u> - отримати навички створення та тестування квантових схем з використанням Qiskit - опанувати базові операції над одним кубітом та вимірювання в Z-базисі	
3	Основи програмування базових операцій у Q# <u>Мета роботи:</u> — опанувати основи програмування у Q# (виділення кубітів, унітарні операції)	4
4	Симулятор квантових схем IBM Quantum. Створення квантових алгоритмів. <u>Мета роботи:</u> - отримання навичок застосування 2-х та 3-х кубітних гейтів - самостійна розробка квантових схем	4

Самостійна робота студента

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до лабораторних робіт	51
2	Підготовка до лекційних занять	9
3	Підготовка до МКР	8
4	Підготовка до залікової контрольної роботи	6

6. Модульна контрольна робота

Метою модульної контрольної роботи є закріплення та перевірка теоретичних знань із освітнього компонента, набуття студентами практичних навичок самостійного вирішення завдань.

Модульна контрольна робота (МКР) виконується в кінці курсу на останньому тижні. Контрольна робота проводиться у середовищі Moodle. Кожен студент отримує індивідуальне завдання. Модульна контрольна робота складається з 20 тестових питань за темами, котрі були розглянуті при вивченні освітнього компоненту.

Задіяні методи і засоби навчання

Задіяні різні **методи навчання**, а саме за характером логіки пізнання, проблемно-орієнтований, на основі цілісного підходу до процесу навчання (лекційний матеріал та завдання до лабораторних робіт тісно пов'язані між собою), самостійна навчально-пізнавальна діяльність, в процесі яких проявляється та оцінюється індивідуальна діяльність студентів (на самостійне опрацювання студентів виноситься ряд завдань, які студенти готують самостійно та презентують перед аудиторією, також декілька комп'ютерних практикумів передбачають виконання поза межами відведених занять за розкладом, а на занятті вони лише захищають роботу), міждисциплінарний підхід до навчання (при вивченні дисципліни активно використовуються знання, які студенти здобули на таких дисциплінах як Програмування та інші. Перевага віддається саме продуктивним методам, які спрямовані на активізацію і стимулювання навчально-пізнавальної діяльності студента.

Основним **засобами навчання** є:

- Інформаційні засоби (презентації до лекцій, теоретичні відомості до виконання лабораторних робіт, додаткова література до вивчення навчальної дисципліни);
- Дидактичні засоби (таблиці, презентації, демонстраційні приклади реалізації практичних завдань, програмні засоби навчального призначення у вигляді інструментарію для виконання лабораторних робіт);
- Технічні засоби:
 - Мультимедійні системи (мультимедійний проектор або дошка);
 - Засоби комунікації зі студентами:
 - розміщення теоретичних матеріалів, завдань до лабораторних робіт, самостійної роботи студентів, питань до заліку та інше (Система «Електронний Кампус», Платформа дистанційного навчання "Сікорський");
 - обмін повідомленнями (Телеграм-чат).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Основні положення політики:

- **політика щодо академічної доброчесності** - студент зобов'язаний дотримуватись [Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»](#) та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу;
- **правила відвідування занять** – відвідування лекційних та лабораторних робіт є обов'язковою складовою вивчення матеріалу при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі zoom-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачами посиланнями;
- **правила поведінки на заняттях** – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію, пояснення викладача щодо виконання лабораторної роботи чи працювати під час виконання лабораторних робіт. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- впродовж занять студенти можуть задавати питання стосовно матеріалу, що викладається; студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення та оцінювання контрольних заходів. У випадку необхідності виникнення у студентів додаткових питань щодо дисципліни поза навчальні заняття, студенти мають можливість задати їх на консультації згідно затвердженого розкладу або в телеграм каналі дисципліни в робочий час (час відповіді на питання до 3-х діб).
- студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до критеріїв оцінки та/або зауважень. Оскарження результатів студентами виконується згідно положення «Про вирішення конфліктних ситуацій в КПІ ім. Ігоря Сікорського»;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів** – заохочувальні бали не передбачені, штрафні бали нараховуються при несвоєчасному без поважних причин виконанні контрольних заходів та запланованих видів робіт. Метою штрафних балів є стимулювання студентів своєчасно виконувати всі види робіт і рівномірно розподіляти навантаження з дисципліни протягом семестру;
- **політика щодо виконання лабораторних робіт:**
 - у випадку виявлення факту академічної недоброчесності робота не зараховується;

- кожна лабораторна робота має кінцевий термін виконання, до настання якого студент має можливість отримати максимальну кількість балів;
 - кожна лабораторна робота має 4 критерії оцінювання: Виконання, Захист, Термін та Звіт;
 - лабораторна робота вважається зданою у випадку її захисту студентом на занятті.
- **політика щодо дедлайнів та перескладань:**
- ліквідація академічної заборгованості, яка виникла у випадку отримання незадовільної оцінки (але за наявності допуску!) здійснюється за графіком, встановленим на рівні університету;
 - якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів; переписування модульних контрольних робіт не передбачено;
 - якщо студент не проходив або не з'явився на тестування на лекційному занятті (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів; переписування або повторне проходження тестувань по матеріалам лекційних занять не передбачено;
 - здача протоколів лабораторних робіт відбувається на наступному занятті після виконання даної ЛР шляхом завантаження їх в систему moodle (на платформу дистанційного навчання "Сікорський"). При значних заборгованостях з виконання робіт, оформлення протоколів, їх здачі, студенти можуть бути недопущені до семестрового контролю;
 - в окремих випадках, при наявності об'єктивних причин (хвороба, наявність «повітряної тривоги», перебування студента на прифронтових територіях, академічна мобільність, тощо), що унеможливають можливість виконання студентом контрольних заходів в оприлюднені дедлайни, дедлайни/терміни здачі контрольних заходів можуть бути змінені за умови попереднього узгодження з викладачем.
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

8.1 Поточний контроль

Поточний контроль успішності засвоєння знань студентами виконується шляхом виконання ними: лабораторних робіт та МКР. Таким чином, семестровий рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- лабораторні роботи;
- одну модульну контрольну роботу;
- відповідь на заліку (при необхідності або за бажанням підняти семестрову оцінку).

8.2 Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Лабораторні роботи

Вагові бали кожної роботи наведені у таблиці 3. Сумарний ваговий бал за даний контрольний захід складає **60 балів**.

Критерії оцінювання лабораторних робіт включають якість її виконання, захисту та оформлення звіту (таблиця 3).

Таблиця 3 – Вагові бали та критерії оцінювання комп'ютерних практикумів

№	Назва роботи	Максимальні бали по відповідним критеріям				
		Виконання	Захист	Термін	Звіт	Сума
1	Симулятор квантових схем IBM Quantum. Реалізація та тестування основних операції при створенні квантових схем.	7	5	3	наявність	15
2	Qiskit. Базові операції.	7	5	3	наявність	15
3	Основи програмування базових операцій у Q#	7	5	3	наявність	15
4	Симулятор квантових схем IBM Quantum. Створення квантових алгоритмів.	7	5	3	наявність	15
	Разом за лабораторні роботи	28	20	12		60

Критерії оцінювання лабораторних робіт 1-4:

№ л.р.	Виконання	Захист	Термін
1-4	робота виконана без зауважень – 7 балів	робота захищена без зауважень – 5 балів	за кожні 2 тижні затримки здачі лабораторної роботи максимальний бал, котрий може бути отриманий за цим критерієм, зменшується на 15%, однак не може бути меншим за 0 балів
	достатньо повне виконання роботи з деякими похибками – до 6 балів	робота захищена, однак при захисті є зауваження – до 4 балів	
	неповністю виконана робота – до 3 балів	робота захищена, однак на частину питань відсутні відповіді або надані часткові відповіді – до 2 балів	
	при виконанні роботи є суттєві зауваження – 0 балів	є суттєві зауваження при захисті роботи – 0 балів	

Мінімальний бал за кожну роботу – 9 (60% від максимуму) або 0 у випадку неналежного виконання

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з 20 тестових питань за темами, котрі були розглянуті при вивченні освітнього компоненту. Максимальний ваговий бал за даний контрольний захід = 40 балів.

Оцінювання кожного питання в МКР здійснюється наступним чином:

- правильна відповідь на запитання: - 2 бали;
- неправильна відповідь на запитання – 0 балів.

Мінімальний бал за МКР – визначається кількістю правильних наданих відповідей на тестові питання.

УВАГА! Виконана МКР на позитивну оцінку робіт є умовою допуску до семестрового контролю. Студенти, що на момент виставлення оцінки з семестрового контролю не виконали модульну контрольну роботу, не допускаються до основної здачі та готуються до перескладання.

УВАГА! Для допуску до перескладання треба у визначений викладачем термін виконати модульну контрольну роботу.

8.3 Календарний контроль

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр на 7 та 13 тижнях як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу - студент отримує «атестовано» під час першого та другого календарного контролю, якщо його поточний рейтинг складає не менше за 50% від максимальної кількості балів, можливої на момент контролю.

Умови позитивної проміжної атестації

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 16-балів. На першій атестації (7-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 8 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 24-бали. На другій атестації (13-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів.

8.4 Розрахунок шкали рейтингу

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Необхідною умовою допуску до семестрового контролю є:

- виконана МКР на позитивну оцінку;
- виконаний та зарахований цикл лабораторних робіт на позитивну оцінку.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів і є допущеними до семестрового контролю, а також ті, хто хоче підвищити оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому до існуючих балів додаються бали за контрольну роботу і ця рейтингова оцінка є остаточною. Завдання залікової контрольної роботи складаються з одного практичного завдання з різних розділів дисципліни.

Для отримання студентом відповідних оцінок (ECTS та традиційних) його рейтингова оцінка R_D переводиться згідно з таблицею 6.

Таблиця 5

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Усі навчально-методичні матеріали з дисципліни (презентації до лекцій) знаходяться у вільному доступі для студентів на платформі дистанційного навчання "Сікорський".

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль розміщені на платформі дистанційного навчання "Сікорський".

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Складено доцент, к.т.н., Лішук Катерина Ігорівна

Ухвалено кафедрою ІІІ (протокол № 16 від 23.06.2025 р.)

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