

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

(назва навчально-наукового інституту / факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук
О. В. Ангельський

_____ 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни**

Основи квантового комп'ютингу

(назва навчальної дисципліни)

обов'язкова

(вказати: обов'язкова / вибіркова)

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

(назва програми)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(вказати: код, назва)

Галузь знань 12 Інформаційні технології

(вказати: шифр, назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

(вказати: перший бакалаврський/другий магістерський)

фізико-технічних та комп'ютерних наук

(назва факультету/ навчально-наукового інституту,
на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання українська

Чернівці 2022 рік

Робоча програма навчальної дисципліни

ОК01 Основи квантового комп'ютингу

(назва навчальної дисципліни)

складена відповідно до освітньо-професійної програми

Комп'ютерна інженерія, 123 Комп'ютерна інженерія,

(назва освітньо-професійної програми, код та назва спеціальності)

12 Інформаційні технології, 15 квітня 2021 р.

(галузь знань: шифр та назва; дата останнього затвердження)

Розробники: Дейбук Віталій Григорович, професор кафедри КСМ,

доктор фіз-мат. наук, професор

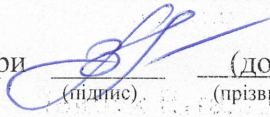
(П.І.Б. авторів, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Погоджено з гарантом ОП і затверджено на засіданні

кафедри комп'ютерних систем та мереж

Протокол № 1 від "29" серпня 2022 року

Завідувач кафедри



(доц. Воробець Г.І.)

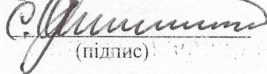
(підпис)

(прізвище та ініціали)

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1 від "31" серпня 2022 року

Голова методичної ради навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук



(Струк Я. М.)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

1. Мета навчальної дисципліни

Мета: формування необхідного рівня теоретичної і практичної підготовки студентів для грамотного використання ними знань про принципи організації квантових обчислень, що є важливим у майбутній професійній діяльності; для досягнення мети студентам надаються систематизовані знання про принципи побудови та функціонування квантових комп'ютерів, концептуальні основи квантових обчислень та можливості використання квантових алгоритмів для розв'язання задач неполіномної складності.

2. Результати навчання

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент отримує компетентності, у результаті чого повинен

2.1. Знати: основні методи представлення квантової інформації, логічний апарат квантових обчислень; можливості квантових обчислень; основні квантові алгоритми; основні вимоги до квантових комп'ютерів; принципи функціонування квантових мереж.

2.2. Вміти: аналізувати і застосовувати логічний апарат квантових обчислень; моделювати основні квантові комбінаційні схеми на логічному рівні; аналізувати основні алгоритми квантової інформатики. вирішувати оптимізаційні задачі за допомогою квантових алгоритмів.

2.3. Набути компетентностей:

ЗК - загальних

- ЗК1. Здатність до адаптації та дій в новій ситуації.
- ЗК2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК7. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

СК – фахових (спеціальних)

- СК2. Здатність розробляти алгоритмічне та програмне забезпечення, компоненти квантових комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем з використанням сучасних методів і спеціалізованих мов програмування, а також засобів і систем автоматизації проектування квантових пристроїв.

СК4. Здатність будувати та досліджувати моделі квантових комп'ютерних систем та мереж.

СК5. Здатність будувати архітектуру та створювати системне і прикладне програмне забезпечення квантових комп'ютерних систем та мереж.

СК6. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

СК7. Здатність досліджувати, розробляти та обирати технології створення великих і надвеликих систем.

ПРН - програмних результатів навчання

РН2. Знаходити необхідні дані, аналізувати та оцінювати їх.

РН3. Будувати та досліджувати моделі квантових комп'ютерних систем і мереж, оцінювати їх адекватність, визначати межі застосовності.

РН4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері квантової комп'ютерної інженерії, необхідні для професійної діяльності, оригінального мислення та проведення досліджень, критичного осмислення проблем інформаційних технологій та на межі галузей знань.

РН7. Вирішувати задачі аналізу та синтезу комп'ютерних систем та мереж.

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Загальна інформація

| Форма навчання | Рік підготовки | Семестр | Кількість | | Кількість годин | | | | | | Вид підсумкового контролю |
|----------------|----------------|---------|-----------|--------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|---------------------------|
| | | | кредитів | всього годин | лекції | практичні | семінарські | лабораторні | самостійна робота | індивідуальні завдання | |
| Денна | 1(5) | 1(9) | 3 | 90 | 15 | - | - | 15 | 60 | - | Залік |
| Заочна | 1(5) | 1(9) | 3 | 90 | 4 | - | - | 4 | 82 | - | Залік |

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 0,50 ((30+30)/120);
для заочної форми навчання – 0,10 ((8+8)/164).

3.2. Структура змісту навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--------------|----------|-----------|----------|-----------|--------------|--------------|----|----------|----------|-----------|
| | Денна форма | | | | | | Заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб | інд | с.р. | | л | п | лаб | інд | с.р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Теми лекційних занять | Змістовий модуль 1. | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Вступ. Квантові системи зі спіном, фотони Вимірювання. | 5 | 2 | - | 0 | - | 3 | 5 | 1 | - | - | - | 4 |
| Тема 2. Лінійна алгебра. Ортонормований базис. Інструменти лінійної алгебри. | 10 | 2 | - | 0 | - | 8 | 10 | - | - | - | - | 10 |
| Тема 3. Спін і кубіти. Протокол BB84. | 10 | 2 | - | 2 | - | 6 | 10 | - | - | 1 | - | 9 |
| Тема 4. Заплутаність квантових станів. Вентиль CNOT | 10 | 2 | - | 2 | - | 6 | 10 | 1 | - | 1 | - | 8 |
| Тема 5. Нерівність Белла. Протокол Екєрта для квантових розподілених ключів | 10 | 2 | - | 3 | - | 5 | 10 | - | - | - | - | 10 |
| Тема 6.Класична логіка. Вентилі і кола. Зворотні обчислення. | 5 | 1 | - | 0 | | 4 | 5 | - | | - | | 5 |
| Тема 7.Квантові вентилі і кола. Теорема про заборону клонування. Квантова телепортація. | 20 | 2 | - | 4 | | 14 | 20 | 1 | | 1 | | 18 |
| Тема 8. Квантові алгоритми (Дойча, Дойча-Джози, Саймона, Шора, Гровера) | 20 | 2 | - | 4 | | 14 | 20 | 1 | | 1 | | 18 |
| Усього годин | 90 | 15 | - | 15 | - | 60 | 90 | 4 | | 4 | - | 82 |

3.5. Тематика лабораторних занять

| № | Назва теми (завдання) | Кількість годин |
|---|---------------------------------|-----------------|
| 1 | QCAD застосунок | 2 |
| 2 | Базові квантові гейти | 2 |
| 3 | Квантові арифметичні кола | 3 |
| 4 | Квантове перетворення Фур'є | 4 |
| 5 | Алгоритм квантової телепортації | 4 |
| | Разом | 15 |

3.7. Самостійна робота студента

| № | Назва теми | Кількість годин |
|---|--|-----------------|
| 1 | Вимірювання і ймовірність. Фотони та поляризація | 3 |
| 2 | Впорядковані базиси. Ортогональні й унітарні матриці | 8 |
| 3 | Математична модель поляризації фотона. | 6 |
| 4 | Заплутані квантові годинники | 6 |
| 5 | Заплутані кубіти в різних базисах. ЕПР парадокс | 5 |
| 6 | Вентилі Тоффолі і Фредкіна | 4 |
| 7 | Коло Белла. Надщільне кодування | 14 |
| 8 | Кронекерівський добуток матриць Адамара. | 14 |
| | Разом | 60 |

4. Методи навчання

Для викладання матеріалів з навчальної дисципліни «Основи квантового комп'ютингу» використовуються наступні методи навчання.

4.1. Словесні методи навчання. Навчальна лекція

За допомогою даного методу забезпечується усне викладення матеріалу великими ємністю й складністю логічних побудов, доказів і узагальнень. В ході лекції використовуються прийоми усного викладення інформації, підтримання

уваги протягом тривалого часу, активізації мислення студентів, прийоми забезпечення логічного запам'ятовування, переконання, аргументації, доказів, класифікації, систематизації і узагальнення. В залежності від специфіки лекційного матеріалу іноді використовується лекція-діалог.

4.2. Індуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних занять, коли матеріал носить, здебільшого, фактичний характер. В рамках лабораторних занять метод застосовується при виконанні технічних задач, коли студенти використовують раніше здобуті теоретичні знання при роботі з конкретними пристроями та програмними продуктами.

4.3. Репродуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних і лабораторних занять, а також під час самостійної роботи студентів. Метод передбачає роботу студентів за визначеним алгоритмом. Згідно з методом для виконання завдань студентам надаються методичні вказівки, правила і навчальні приклади.

4.4. Проблемно-пошукові методи навчання

Проблемно-пошукові методи застосовуються в ході проблемного навчання, а саме в процесі виконання лабораторних робіт та індивідуальних науково-дослідних завдань. Слід зауважити, що під проблемною ситуацією треба вважати невідповідність між тим, що вивчається і вже вивченим. При використанні проблемно-пошукових методів навчання викладач використовує такі прийоми: створює проблемну ситуацію (ставить питання, пропонує задачу, експериментальне завдання), організує колективне обговорення можливих підходів до рішення проблемної ситуації, стимулює висування гіпотез, тощо. Студенти роблять припущення про шляхи вирішення проблемної ситуації, узагальнюють раніше набуті знання, виявляють причини явищ, пояснюють їхнє походження, вибирають найбільш раціональний варіант вирішення проблемної ситуації. Викладач обов'язково керує цим процесом на всіх етапах, а також за допомогою запитань-підказок. Також даний метод використовується при опрацюванні матеріалів в системі дистанційної освіти «Moodle».

4.5. Наочний метод навчання

Наочний метод достатньо важливий для студентів, оскільки забезпечує візуальне подання навчального матеріалу, зокрема, з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. При викладанні дисципліни наочний метод навчання поєднується зі словесними методами для представлення інформації у вигляді таблиць, рисунків, схем та діаграм.

5. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

| Оцінка за шкалою ЄКТС | Критерії | Пояснення | Оцінка за 100-бальною шкалою | Оцінка за національною шкалою (залік) |
|-----------------------|--|---|------------------------------|---------------------------------------|
| A | Відмінний рівень компетентностей у межах обов'язкового матеріалу, з можливими незначними недоліками | Зараховано | 90 – 100 | Зараховано |
| B | Достатньо високий рівень компетентностей у межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок | | 80-89 | |
| C | В цілому добрий рівень компетентностей із незначною кількістю помилок | | 70-79 | |
| D | Посередній рівень компетентностей із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або професійної діяльності | | 60-69 | |
| E | Мінімально можливий допустимий рівень компетентностей | | 50-59 | |
| FX | Незадовільний рівень компетентностей, з можливістю повторного перескладання за умови належного самостійного доопрацювання | Не зараховано з можливістю повторного складання | 35-49 | Не зараховано |
| F | Дуже поганий рівень компетентностей, що вимагає повторного вивчення дисципліни | Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | 1-34 | |

6. Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є

- стандартизовані тести;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- завдання на лабораторному обладнанні.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Формами поточного контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при захисті виконаних лабораторних робіт, кількість отриманих балів при виконанні тестового завдання, а також письмова відповідь при написанні модульних контрольних робіт.

| Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота) | | | | | | | | Підсумкови й контроль (залік) | Сумарна кількіст ь балів |
|---|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--|-----------------------------------|
| Змістовий модуль 1 | | | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | T 4 | T 5 | T 6 | T 7 | T 8 | | |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 60 | 100 |

Формами підсумкового контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при здачі заліку у формі тесту.

8. Рекомендована література

8.1. Фахова (основна)

1. Nielsen, M. A., and Chuang, I. L. (2020). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. IBM QX backend information (2018). Available at <https://github.com/QISKit/ibmqx-backend-information>
3. Bernhardt C. *Quantum computing for everyone*. - Cambridge, MA: The MIT Press, 2019. – 194 p.
4. Berman G.P., et al. *Introduction to quantum computers*. – WSP: London, 2017. - 188 p.
5. N. Abdessaied and R. Drechsler, *Reversible and Quantum Circuits*, Springer Cham, 2018. - 243 p.
6. Крохмальський Т. Квантові комп'ютери: основи й алгоритми // Журнал фізичних досліджень. - 2004. - т. 8, №1. – С. 1-15.
7. Benetti G., Casati G., Strini G. *Principles of Quantum Computation and Information, V.1. Basic Concepts*. – Singapore: World Scientific, 2020. – 256p.
8. *Basics of Quantum Computing/ Методичні вказівки до лабораторного практикуму (англ. мовою)/ Укладач Дейбук В.Г. - Чернівці, 2022 (електронне видання)*

8.2. Додаткова

1. D. McMahon. *Quantum computing explained.*/ D. McMahon – Wiley-Interscience, 2018. – 332p.

2. A. De Vos. Reversible Computing: Fundamentals, Quantum Computing, and Applications. Wiley-VCH, 2019.
3. Z. Hu, V. **Deibuk**. Design of ternary reversible/quantum sequential elements. *Journal of Thermoelectricity*, 2018(1), 5-17.
4. O. Rozhdov, I. Yuriychuk, V. **Deibuk**. Building a generalized peres gate with multiple control signals. *Advances in Intelligent Systems and Computing* vol 754, 155-164
5. D. M. Miller, M. A. Thornton, “Multiple Valued Logic: Concepts and Representations”. Morgan & Claypool Publishers, 2018.
6. R. S. Zebulum, M. C. Pacheco, M. M. Vellasco, “Evolutionary Electronics: Automatic Design of Electronic Circuits and Systems by Genetic Algorithms”. CRC Press, 2020.
9. L. Spector, “Automatic Quantum Computer Programming: A Genetic Programming Approach”. Kluwer Academic Publishers, 2019.

9. Інформаційні ресурси

1. <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3243>
2. <https://github.com/QISKit/ibmqx-backend-information>
3. <https://www.ibm.com/quantum/systems>
4. <https://quantumai.google/>