

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 27.08.2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в квантовые алгоритмы

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
01.03.02 - Прикладная математика и информатика

---

Направленность образовательной программы  
Математическое моделирование и искусственный интеллект

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.02 Введение в квантовые алгоритмы относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<i>ПК-1: Способен решать актуальные задачи прикладной математики и информатики</i>	<p><i>ПК-1.1: Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и информационных технологий для решения актуальных задач прикладной математики и информатики</i></p> <p><i>ПК-1.2: Умеет применять базовые знания математических и информационных технологий для решения актуальных задач прикладной математики и информатики</i></p> <p><i>ПК-1.3: Имеет практический опыт решения актуальных задач прикладной математики и информатики</i></p>	<p><i>ПК-1.1: Обладает базовыми принципами в области квантовых алгоритмов и информационных технологий для решения актуальных задач прикладной математики и информатики</i></p> <p><i>ПК-1.2: Умеет проектировать и реализовывать квантовые алгоритмы для решения прикладных задач в области квантовых вычислений, адаптируя их под требования современных технологий</i></p> <p><i>ПК-1.3: Обладает практическим опытом решения прикладных задач с использованием квантовых вычислений</i></p>	<p><i>Задачи</i></p> <p><i>Собеседование</i></p>	<p><i>Зачёт:</i></p> <p><i>Контрольные вопросы</i></p> <p><i>Задачи</i></p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	

- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
Основы квантовых вычислений	19	4	4	8	11
Основные квантовые алгоритмы	26	6	6	12	14
Гибридные квантовые алгоритмы	26	6	6	12	14
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

Цели и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины «Введение в квантовые алгоритмы» удовлетворяет компетенции ПК-1 и заключается в формировании у обучающихся теоретических знаний и практических умений в области основ квантовых вычислений, математического аппарата квантовых состояний, квантовых схем, базовых и гибридных квантовых алгоритмов, а также их применения для решения актуальных задач прикладной математики и информатики.

Задачи

- 1) Изучить теоретические основы дисциплины «Введение в квантовые алгоритмы».
- 2) Обеспечить формирование компетенции ПК-1 в соответствии с требованиями образовательной программы.
- 3) Сформировать практические умения анализа, построения и применения квантовых алгоритмов для решения прикладных задач.

Содержание:

1. Основы квантовых вычислений. – Математический аппарат квантовых вычислений. Кубиты. Суперпозиция состояний. Сфера Блоха. Теорема о запрете клонирования. Квантовые измерения и коллапс волновой функции. Однокубитные квантовые гейты. Математическое описание двухкубитных систем. Тензорное произведение квантовых состояний. Квантовая запутанность. Двухкубитные

квантовые гейты. Состояния Белла. Телепортация квантовых состояний. Сверхплотное кодирование. Мера запутанности. Тест Белла для проверки нелокальности.

2. Основные квантовые алгоритмы. – Квантовые схемы. Языки квантового программирования. Эмуляторы квантовых вычислений. Классические и квантовые вычисления с оракулом. Алгоритм Дойча-Йожи. Алгоритм Гровера. Задача факторизации. Алгоритм поиска фазы. Квантовая реализация умножения целых чисел. Алгоритм Шора. Квантовое преобразование Фурье.

3. Гибридные квантовые алгоритмы. – Вариационный квантовый решатель (VQE). Нахождение энергии основного состояния молекулы на основе вариационного алгоритма. Гибридный квантово-классический алгоритм для решения задач комбинаторной оптимизации (QAOA). Основы квантового машинного обучения.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

- Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/> .

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

**Вопрос 1.** Кубит – это

- а) двухуровневая квантовая система;
- б) элементарная частица;
- в) то же, что и классический бит.

**Вопрос 2.** Сопоставьте алгоритмы с их применениями:

- 1. Алгоритм Шора
- 2. Алгоритм Гровера
- 3. Алгоритм Дойча-Йожи
- а) Поиск в неупорядоченной базе данных.
- б) Определение типа функции (сбалансированная/постоянная).
- в) Факторизация больших чисел.

**Вопрос 3.** Кубит находится в состоянии  $\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$ . Какова вероятность измерения в состоянии  $|1\rangle$  ?

- а) 0.7

б) 0.5

в) 1.0

**Вопрос 4.** В каком алгоритме используется квантовое преобразование Фурье?

а) Алгоритм Гровера.

б) Алгоритм Шора.

в) Квантовая телепортация.

**Вопрос 5.** Что такое квантовый оракул?

а) Устройство для генерации случайных чисел.

б) Физический компонент квантового компьютера.

в) Чёрный ящик, реализующий функцию  $f(x)$ .

**Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий

**5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Чем гильбертово пространство отличается от классического векторного пространства?
2. Как представляется состояние кубита в виде вектора?
3. Как визуализируется состояние кубита на сфере Блоха?
4. В чем заключается суть теоремы о запрете клонирования?
5. Что происходит с волновой функцией при измерении кубита?
6. Какие однокубитные гейты Вы знаете? Назовите их матрицы и физический смысл.
7. Что такое тензорное произведение состояний?
8. Объясните протокол квантовой телепортации. Почему для него необходима классическая связь?
9. В чём заключается сверхплотное кодирование? Сколько классических битов можно передать с помощью одного кубита?
10. Что такое запутанность? Как её можно измерить (например, энтропия фон Неймана)?
11. Опишите структуру квантовой схемы для алгоритма Гровера. Какие гейты используются?
12. Сформулируйте задачу, которую решает алгоритм Дойча-Йожи. Почему он требует всего одного запроса к оракулу?
13. Какие ограничения есть у алгоритма Гровера?

14. Как алгоритм Шора связан с задачей нахождения периода функции?
15. В чём отличие квантового от классического преобразования Фурье?
16. Что такое квантовый оракул?
17. Почему вариационный квантовый решатель (VQE) подходит для нахождения энергии основного состояния молекул?
18. Какие параметры настраиваются в гибридном алгоритме оптимизации QAOA?
19. Для каких задач квантовые алгоритмы дают экспоненциальное ускорение, а для каких — квадратичное?
20. Какие квантовые аналоги классических алгоритмов машинного обучения вы знаете?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			полном объеме	объеме, но некоторые с недочетами	с недочетами	недочетами, выполнены все задания в полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

**5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

**5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

1. Кодирование квантовой информации. Кубит, сфера Блоха.
2. Классы сложности. Обратимые вычисления.
3. Универсальные квантовые вентили.
4. Однокубитные и двухкубитные операции

5. Языки квантового программирования.
6. Квантовое преобразование Фурье.
7. Алгоритм Гровера.
8. Квантовый поиск как квантовые вычисления.
9. Алгоритм Дойча-Йожи
10. Гибридные алгоритмы (VQE, QAOA)

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

**Задание 1.** Реализуйте алгоритм Гровера для поиска элемента  $x=3$  в базе данных из  $N=4$  элементов  $x \in \{0,1,2,3\}$  с использованием *Qiskit* в *Python*.

1. Постройте квантовую схему алгоритма, включая оракул и диффузор.
2. Запустите схему на симуляторе и определите вероятность успешного нахождения  $x=3$ .

Объясните, как изменится схема, если  $N=8$ .

**Задание 2.** Опишите, как работает вариационный квантовый решатель (VQE) для нахождения энергии основного состояния молекулы .

1. Какие параметры оптимизируются в VQE?
2. Почему гибридный подход (квантово-классический) эффективен для NISQ-устройств?
3. Нарисуйте схему вариационной квантовой схемы (ansatz) для  $H_2$ .

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи с соблюдением всех требований, указанных в условии задачи, или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок. Ответ на вопросы по заданию изложен четко и логично.
не зачтено	Выполнены не все этапы решения задачи или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, не соблюдены требования, указанные в условии задачи, результаты работы не представлены преподавателю). Ответ на вопросы по заданию неполный и поверхностный.

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

## Основная литература:

1. Блохинцев Дмитрий Иванович. Основы квантовой механики : [учеб. пособие для вузов]. - 6-е изд., стер. - М. : Наука, 1983. - 664 с. : ил. - 1.60. - Текст : непосредственный., 15 экз.
2. Прескилл Джон. Квантовая информация и квантовые вычисления = Quantum Information and Computation. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютер. исслед., 2008-. - Текст : непосредственный. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 1 / пер. с англ. Т. С. Нечаевой ; под науч. ред. С. С. Епифанова, С. Г. Новокшонова. - М. ; Ижевск, 2008. - 464 с. - ISBN 978-5-93972-651-1 : 140.00. - Текст : непосредственный., 1 экз.
3. Прескилл Джон. Квантовая информация и квантовые вычисления = Quantum Information and Computation. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютер. исслед., 2008-. - Текст : непосредственный. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 2 / пер. с англ. Т. С. Нечаевой ; под науч. ред. С. Г. Новокшонова. - 2011. - 312 с. - ISBN 978-5-4344-0030-5 : 300.00. - Текст : непосредственный., 1 экз.

## Дополнительная литература:

1. Китаев А. Классические и квантовые вычисления. - М. : МЦНМО : ЧеРо, 1999. - 192 с. - (Новые математические дисциплины). - ISBN 5-900916-35-9 : 19.00. - Текст : непосредственный., 1 экз.
2. Самарский Александр Андреевич. Численные методы : [учеб. пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"]. - М. : Наука, 1989. - 429, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-013996-3 (в пер.) : 1.20. - Текст : непосредственный., 44 экз.
3. Стин Э. Квантовые вычисления / пер. с англ. И. Д. Пасынкова. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регуляр. и хаот. динамика", 2000. - 112 с. - ISBN 5-93972-023-4 : 27.38. - Текст : непосредственный., 1 экз.
4. Сысоев Сергей Сергеевич. Введение в квантовые вычисления. Квантовые алгоритмы : Учебное пособие / Санкт-Петербургский государственный университет. - СПб : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2019. - 144 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-288-05933-9. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=630532&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- официальный сайт языка Python <https://www.python.org/>
- Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/> .

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Бастракова Марина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Иванченко Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25.06.2025, протокол № Протокол №11.