

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 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

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.06 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
ПК-13: Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике	<p>ПК-13.1: Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике</p> <p>ПК-13.2: Знает математические методы обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</p> <p>ПК-13.3: Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности</p> <p>ПК-13.4: Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</p>	<p>ПК-13.1: ЗНАТЬ Базовые понятия и методы квантовых вычислений, условия их применимости</p> <p>ПК-13.2: ЗНАТЬ Базовые понятия и методы популяционной генетики, условия их применимости к решению задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-13.3: УМЕТЬ Определять и профессионально применять математические методы квантовых вычислений для решения задач производственно-технологической деятельности, анализировать полученные результаты.</p> <p>ПК-13.4: ВЛАДЕТЬ Навыками программной реализации вычислительных методов и алгоритмов квантовых вычислений для решения задач</p>	Отчет по лабораторным работам	Зачёт: Контрольные вопросы

		производственно-технологической деятельности		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Квантовая информация	23	5	5	10	13
Элементы теории вычислений	23	5	5	10	13
Квантовые вычисления	25	6	6	12	13
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	16	16	33	39

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Квантовая информация
2. Элементы теории вычислений
3. Квантовые вычисления

#### 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.

Самостоятельная работа студентов подразделяется на следующие категории:

- Изучение учебной литературы (см. перечень образовательных материалов).
- Выполнение лабораторных работ.

#### 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 - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-13:

Для состояний кубита  $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$  и  $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$  приведите решения:

**Задание 1.** Какой квантовый вентиль из перечисленных переводит кубит из состояния  $|0\rangle$  в состояние с равными весами  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ ?

**Ответ а):**  $H$ ;

**Ответ б):**  $Y$ ;

**Ответ в):**  $Z$ .

Правильный ответ – а).

**Задание 2.** Примените гейта CNOT (control = 0, target = 1) к состоянию  $|+\rangle \otimes |0\rangle$ , где  $|+\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$ . Какое состояние получится?

**Ответ а):**  $\frac{|00\rangle + |01\rangle}{\sqrt{2}}$ ;

**Ответ б):**  $\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$ ;

**Ответ в):**  $\frac{|00\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}$ .

Правильный ответ – б).

**Задание 3:** Какое состояние используется в сверхплотном кодировании для передачи двух классических битов?

**Ответ:**

**Ответ а):**  $|01\rangle > \frac{|00\rangle + |01\rangle}{\sqrt{2}};$

**Ответ б):**  $|00\rangle > \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}};$

**Ответ в):**  $\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}.$

Правильный ответ – в).

### Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, проведены вычислительные эксперименты на трудоемких тестовых данных, результаты работы представлены преподавателю.
не зачтено	Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, не проведены вычислительные эксперименты на трудоемких тестовых данных, результаты работы не представлены преподавателю).

### 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 полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<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-13

1. Классическая информация.
2. Кубиты
3. Однобитовые вентили. Двухбитовые состояния и вентили.
4. Управление U-вентилем, теорема о запрете клонирования и квантовая телепортация.
5. Е-бит, классические вычисления в квантовых цепях.
6. Квантовый параллелизм, алгоритмы Дойча и Дойча-Йожи, преобразование Фурье в квантовых цепях.
7. Основные понятия квантовой механики.
8. Измеряющий оператор.
9. Матрица плотности. Разложение Шмидта.
10. Неравенство Белла. Локальный реализм.
11. Машины и цепи Тьюринга.
12. Классы сложности. Обратимые вычисления.
13. Универсальные квантовые вентили.
14. Аппроксимация унитарности одного кубита универсальным набором вентилей.
15. Пропагация квантовых систем на квантовых компьютерах (декомпозиция Троттера).
16. Квантовое преобразование Фурье.
17. Алгоритм Гровера.
18. Квантовый поиск как квантовые вычисления.
19. Квантовые операции и каналы.

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

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

### 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., 15 экз.

Дополнительная литература:

1. Стронгин Роман Григорьевич. Исследование операций : Модели экономического поведения : учеб. для студентов, обучающихся по направлению 510200 - Прикладная математика и информатика и по специальности 010200 - Прикладная математика и информатика / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2002. - 244 с. : ил., табл. - В надзаг.: Нац. фонд подгот. кадров. - ISBN 5-85746-682-2 : 100.00., 108 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., 44 экз.

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 10.05.2023, протокол № 11.