

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 № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Квантовые вычисления

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

---

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Квантовые вычисления 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-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: Знать: базовые понятия и методы популяционной генетики, условия их применимости к решению задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.2: Уметь: определять и профессионально применять математические методы квантовых вычислений для решения задач производственно-технологической деятельности, анализировать полученные результаты</p> <p>ПК-11.3: Владеть: навыками программной реализации вычислительных методов и алгоритмов квантовых вычислений для решения задач производственно-технологической деятельности</p>	Отчет по лабораторным работам	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические	ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и	ПК-4.1: Знать: базовые понятия и методы популяционной генетики,	Отчет по лабораторным работам	Зачёт: Контрольные вопросы

модели решаемых научных проблем и задач	теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	условия их применимости к решению задач производственно-технологической деятельности.  ПК-4.2: Уметь: определять и профессионально применять математические методы квантовых вычислений для решения научных проблем и задач, анализировать полученные результаты.  ПК-4.3: Владеть: навыками программной реализации вычислительных методов и алгоритмов квантовых вычислений для решения научных проблем и задач		
---	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</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>75</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,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	часы
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1	30	5	5	10	20
Тема 2	30	5	5	10	20
Тема 3	47	6	6	12	35
Тема 4	0	5	5	0	13
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1: Квантовая информация.

Тема 2: Элементы теории вычислений.

Тема 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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "нет" (нет).
- открытый онлайн-курс МООС "нет" (нет).

Иные учебно-методические материалы: Стронгин Р.Г. Исследование операций. Модели экономического поведения. Электр. ресурс. Режим доступа свободный, <http://www.intuit.ru/department/algorithms/opres>

#### 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-11:

### Задача 1

Пусть  $A \equiv (a_{ij})_{ij}$  -  $m \times n$  матрица и  $B$  -  $r \times s$  матрица. Произведение Кронекера матриц  $A$  и  $B$  определяется как матрица  $(m \cdot r) \times (n \cdot s)$

$$A \otimes B = \begin{pmatrix} a_{11}B & a_{12}B & \dots & a_{1n}B \\ a_{21}B & a_{22}B & \dots & a_{2n}B \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}B & a_{m2}B & \dots & a_{mn}B \end{pmatrix}. \quad (1)$$

а) Состояния

$$|\phi_1\rangle \equiv \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |\phi_2\rangle \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

образуют базис в  $\mathbb{C}^2$ . Вычислите

$$|\phi_1\rangle \otimes |\phi_1\rangle, \quad |\phi_1\rangle \otimes |\phi_2\rangle, \quad |\phi_2\rangle \otimes |\phi_1\rangle, \quad |\phi_2\rangle \otimes |\phi_2\rangle. \quad (3)$$

Образуют ли соответствующие вектора базис в  $\mathbb{C}^4$ ?

б) Рассмотрим матрицы Паули

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Найдите  $\sigma_x \otimes \sigma_z$  and  $\sigma_z \otimes \sigma_x$ .

## 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

### Задача 1

Обозначим два базовых состояния кубита как  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$  где

$$\langle 0|0\rangle = \langle 1|1\rangle = 1, \quad \langle 0|1\rangle = \langle 1|0\rangle = 0. \quad (1)$$

Любое состояние  $|\Psi\rangle$  кубита может быть записано как суперпозиция

$$|\Psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}. \quad (2)$$

а) Найти параметрическое представление для  $|\Psi\rangle$  если область определения - (i) множество действительных чисел и (ii) множество комплексных чисел.

б) Рассмотреть нормированное состояния

$$|\Psi_1\rangle = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 \end{pmatrix}, \quad |\Psi_2\rangle = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Найти условия для  $\theta_1$  и  $\theta_2$  такие что  $|\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle$  - нормированное состояние.

с) Пусть

$$A = |0\rangle \langle 0| + |1\rangle \langle 1|. \quad (4)$$

Вычислить  $A$  для

- (i)  $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$
- (ii)  $|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$
- (iii)  $|0\rangle = \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \end{pmatrix}$

### 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 (индикатор 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-11**

1. Машины и цепи Тьюринга.
2. Классы сложности. Обратимые вычисления.
3. Универсальные квантовые вентили.
4. Аппроксимация унитарности одного кубита универсальным набором вентилей.
5. Пропагация квантовых систем на квантовых компьютерах (декомпозиция Троттера).
6. Квантовое преобразование Фурье.
7. Фазовый эстиматор, алгоритм Гровера.
8. Квантовые поиск как квантовые вычисления.
9. Квантовые операции и канал

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4**

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.

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



Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно» либо хотя бы одна из компетенций сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. Кайданов Леонид Зиновьевич. Генетика популяций : учеб. для вузов по направлению "Биология" и специальностям "Биология" и "Генетика" / под ред. Инге-Вечтомова С. Г. ; прил. Храмова-Борисова Н. Н. - М. : Высшая школа, 1996. - 320 с. : ил. - 16.00., 12 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.

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

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

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

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

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 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Лаптева Татьяна , кандидат физико-математических наук, доцент.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.