

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Информационные и вычислительные системы»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины
Б1.О.13 «ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ»

для направления подготовки
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

по профилю
«Программное обеспечение вычислительной техники и
автоматизированных систем»

Форма обучения – очная

Санкт-Петербург
2025

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «Информационные и вычислительные системы»
Протокол № 4 от «23» декабря 2024 г.

Заведующий кафедрой
«Информационные
и вычислительные системы»
«23» декабря 2024 г.

С.Г. Ермаков

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОПОП

С.Г. Ермаков

«23» декабря 2024 г.

1. Цели и задачи дисциплины

Рабочая программа дисциплины «Основы квантовой информатики» (Б1.О.13) (далее – дисциплина) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» (далее - ФГОС ВО), утвержденного 19 сентября 2017 г., приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 929, приказов Минобрнауки России «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования» от 24 ноября 2020 г. № 1456, от 8 февраля 2021 г. № 83, от 19 июля 2022 г. № 662 и с учетом профессионального стандарта (06.001) «Программист», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 20 июля 2022 г. № 424н.

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающегося способности к применению современных квантовых технологий обработки данных в выбранной профессиональной сфере деятельности

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- формирование знаний о вычислительных возможностях квантовых систем, принципах их эволюции и результатов измерения состояний;
- формирование умений использования основных принципов разработки программного обеспечения для квантовых компьютеров;
- формирование навыков разработки и программной реализации элементарных квантовых алгоритмов.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю) является формирование у обучающихся компетенций и/или части компетенций. Сформированность компетенций и/или части компетенций оценивается с помощью индикаторов достижения компетенций.

Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-2 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, и использовать их при решении задач профессиональной деятельности	
ОПК-2.1 Знание современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности.	Обучающийся знает: <ul style="list-style-type: none">– основные принципы квантовых информационных технологий;– программные продукты для квантовых эмуляторов, разрабатываемых крупными ИТ- компаниями;– современные подходы к проектированию и созданию квантовых компьютеров.
ОПК-2.2 Умение выбирать современные информационные технологии и программные средства, в том числе отечественного	Обучающийся умеет: <ul style="list-style-type: none">– оценивать вычислительную сложность задач проекта;– оценивать перспективы использования квантовых эмуляторов (компьютеров) для решения поставленной задачи.

производства, при решении задач профессиональной деятельности.	
ОПК-2.3 Имеет навыки применения современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности	Обучающийся имеет навыки: – применения информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, для квантовой информатики; – использования квантовых эмуляторов (компьютеров) для решения поставленной задачи.

3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)».

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов
Контактная, работа (по видам учебных занятий) В том числе:	64
- лекции (Л) - практические занятия (ПЗ)	32
- лабораторные работы (ЛР)	32
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	76
Контроль	4
Форма контроля (промежуточной аттестации)	3
Общая трудоемкость: час / з.е.	144/4

Примечание: «Форма контроля» – зачет (3).

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и содержание рассматриваемых вопросов

Таблица 5.1.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
1	Введение. Квантовые компьютеры и квантовые симуляторы.	<u>Лекция 1.</u> Вычислительный процесс как процесс эволюции состояний вычислительной системы. Возможности использования квантовых систем для вычислений. Квантовые компьютеры и квантовые эмуляторы. Перспективы создания и использования квантовых компьютеров для сложных вычислительных задач (2 часа) <u>Лабораторные занятия 1.</u>	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3.

		<p>Лабораторная работа №1._Математические основы квантовых вычислений. Часть 1. (2 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа</u></p> <p>Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№1 (6 часов)</p>	
2	Математические основы квантовой информатики.	<p><u>Лекции 2, 3, 4.</u> Комплексные числа. Корни из единицы. Быстрое преобразование Фурье. Гильбертовы пространства. Операторы в гильбертовых пространствах. Нотация Дирака. Тензорное произведение гильбертовых пространств и операторов. Проективные гильбертовы пространства.(6 часов)</p> <p><u>Лабораторные занятия 2,3,4.</u></p> <p>Лабораторная работа №1._Математические основы квантовых вычислений. Часть 2 (6 часов)</p> <p><u>Самостоятельная работа</u></p> <p>Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№1 (14 часов)</p>	
3	Состояния и измерения в квантовых системах	<p>Лекция 5. Кубит. Поляризация фотона как реализация кубита. Сфера Блоха. Многокубитные системы. Разложимость и запутанность состояний квантовой системы. Измерение состояний квантовой системы. Правило Борна. Понятие вычислительного базиса для квантовой системы.(2 часа)</p> <p><u>Лабораторные занятия 5.</u></p> <p>Лабораторная работа №1._Математические основы квантовых вычислений. Часть 3.(2 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа</u></p> <p>Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№1. (6 часов)</p>	
4	Эволюция состояний квантовой системы.	<p>Лекция 6. Принцип унитарной эволюции. Теорема о невозможности клонирования состояний квантовой системы. Примеры унитарных операторов. Оператор Адамара. Параллелизм в квантовых вычислениях. Задача Дойча. (2 часа)</p> <p><u>Лабораторные занятия 6.</u></p> <p>Лабораторная работа №1._Математические основы квантовых вычислений. Часть 4.(2 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа</u></p> <p>Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№1. (6 часов)</p>	
5	Квантовые схемы.	<p>Лекция 7. Квантовые гейты и квантовые схемы. Понятие схемного базиса. Аппроксимация унитарных операторов. Примеры схемных базисов.(2 часа).</p> <p><u>Лабораторные занятия 7,8,9.</u></p> <p>Лабораторная работа №2.</p> <p>Квантовые схемы. (6 часов)</p> <p><u>Самостоятельная работа</u></p> <p>Повторение лекционного материала,</p>	

		Подготовка отчёта к ЛР№1. Выполнение заданий к ЛР№2. (6 часов)	
6	Квантовые алгоритмы	<p><u>Лекции 8, 9, 10.</u> Задача квантового поиска. Алгоритм Гровера. Задача разложения числа на простые сомножители. Задача нахождения периода последовательности. Алгоритм Саймона. Квантовое преобразование Фурье. Алгоритм Шора. (6 часов)</p> <p><u>Лабораторные занятия 10.</u></p> <p>Лабораторная работа №2. Квантовые схемы. Часть 2. Аппроксимация унитарных операторов схемами. (2 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа.</u> Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№2 (10 часов)</p>	
7	Энтропия и информация в квантовых системах	<p><u>Лекция 11, 12, 13</u> ЭПР – парадокс и квантовые корреляции. Неравенство Белла – Клаузера – Хорна - Шимони.</p> <p>Квантовое состояние как информационный ресурс. Квантовая телепортация. Сверхплотное кодирование. Энтропия фон Неймана и её свойства. Взаимная информация двух квантовых систем. Неравенство Холево. (6 часов)</p> <p><u>Лабораторные занятия 11,12,13.</u></p> <p>Лабораторная работа №3. Энтропия и информация в квантовых системах. (6 часов)</p> <p><u>Самостоятельная работа.</u> Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№3, подготовка отчёта по ЛР№2. (10 часов)</p>	
8	Нелокальность информации квантовых системах	<p><u>Лекции 14, 15.</u> Псевдоквантовые модели. Модели Спеккенса и Папеску. Границы информационной нелокальности. Принцип информационной причинности. (4 часа)</p> <p><u>Лабораторные занятия 14,15.</u></p> <p>Лабораторная работа №4. Псевдоквантовые модели.(4 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа.</u> Повторение лекционного материала, выполнение заданий к ЛР№4, подготовка отчёта к ЛР№3 (10 часов)</p>	
9	Квантовое программирование	<p><u>Лекция 16.</u> Проект Quantum Development Kit компании Microsoft и основные принципы языка программирования Q#. (2 часа)</p> <p><u>Лабораторные занятия 16.</u></p> <p>Лабораторная работа 1-4. (2 часа)</p> <p><u>Самостоятельная работа.</u> Повторение лекционного материала, подготовка отчётов по ЛР№№ 1 – 4. (8 часов)</p>	

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ЛР	СРС	Всего
1	Введение. Квантовые компьютеры и квантовые симуляторы	2	2	6	10

2	Математические основы квантовой информатики	6	6	14	26
3	Состояния и измерения в квантовых системах	2	2	6	10
4	Эволюция состояний квантовой системы	2	2	6	10
5	Квантовые схемы	2	6	6	14
6	Квантовые алгоритмы	6	2	10	18
7	Энтропия и информация в квантовых системах	6	6	10	22
8	Нелокальность информации в квантовых системах	4	4	10	18
9	Квантовое программирование	2	2	8	12
Итого		32	32	76	140
					Контроль 4
					Всего (общая трудоемкость, час.) 144/4

6. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные материалы по дисциплине являются неотъемлемой частью рабочей программы и представлены отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утвержденным заведующим кафедрой.

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Порядок изучения дисциплины, следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведенном в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины, используя методические материалы дисциплины, а также учебно-методическое обеспечение, приведенное в разделе 8 рабочей программы.

2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, предусмотренные текущим контролем успеваемости (см. оценочные материалы по дисциплине).

3. По итогам текущего контроля успеваемости по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. оценочные материалы по дисциплине).

8. Описание материально-технического и учебно-методического обеспечения, необходимого для реализации программы магистратуры по дисциплине

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой магистратуры, укомплектованные специализированной учебной мебелью и оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: стационарным или переносным экраном, маркерной доской и (или) меловой доской, стационарным или переносным мультимедийным проектором, персональными компьютерами.

Все помещения, используемые для проведения учебных занятий и самостоятельной работы, соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Для проведения лабораторных работ используются дисплейные классы кафедры «Информационные и вычислительные системы». Классы оборудованы персональными компьютерами, включая сервер локальной сети для размещения методических материалов и результатов выполнения лабораторных работ. На компьютерах установлен комплект необходимого программного обеспечения, приведенного в п. 8.2.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

8.2. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства:

- MS Office;
- Операционная система Windows;
- Антивирус Касперский;
- Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ».
- среда программирования для квантовых вычислений MS Q# (бесплатное, свободно распространяемое программное обеспечение; режим доступа <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/quantum/overview-what-is-qsharp-and-qdk>)
- среда программирования Python (бесплатное, свободно распространяемое программное обеспечение; режим доступа <https://python.org/downloads/>)
- NetBeans IDE 8.2 (бесплатное, свободно распространяемое программное обеспечение; режим доступа <https://netbeans.org/downloads/>)

8.3. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современным профессиональным базам данных:

- Электронно-библиотечная система издательства «Лань». [Электронный ресурс].
- URL: <https://e.lanbook.com/> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронно-библиотечная система ibooks.ru («Айбукс»). – URL: <https://ibooks.ru> / — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная библиотека ЮРАЙТ. – URL: <https://urait.ru/>— Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Единое окно доступа к образовательным ресурсам - каталог образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования». – URL: <http://window.edu.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Словари и энциклопедии. – URL: <http://academic.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Научная электронная библиотека "КиберЛенинка" - это научная электронная библиотека, построенная на парадигме открытой науки (Open Science), основными задачами которой является популяризация науки и научной деятельности, общественный контроль качества научных публикаций, развитие междисциплинарных исследований, современного института научной рецензии и повышение цитируемости российской науки.
- URL: <http://cyberleninka.ru/> — Режим доступа: свободный.

8.4. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к информационным справочным системам:

- Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". Бесплатное образование. [Электронный ресурс]. – URL: <https://intuit.ru/> — Режим доступа: свободный.

8.5. Перечень печатных и электронных изданий, используемых в образовательном процессе:

1. Баушев, Алексей Николаевич. Классические и квантовые алгоритмы [Текст] : учебное пособие / А. Н. Баушев ; , ФГБОУ ВО ПГУПС. - Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. - 57 с. : ил. - Библиогр.: с. 56. - ISBN 978-5-7641-1168-1 : 182.88 р. - Текст :

непосредственный.Чивилихин, С. А. Квантовая информатика : учебное пособие / С. А. Чивилихин. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009. — 80 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/40805> (дата обращения: 06.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Квантовая информатика лабораторный практикум : учебное пособие / Ю. Т. Мазуренко, С. А. Чивилихин, А. И. Трифанов, В. В. Орлов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009. — 58 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/40806> (дата обращения: 06.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Основы квантовой информации [Электронный ресурс]. - Махачкала : ДГУ, 2018.
- 31 с. - URL:
<https://e.lanbook.com/book/158482>
https://e.lanbook.com/img/cover/book/158482.jpg. - Б. ц.
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/158482>
<https://e.lanbook.com/img/cover/book/158482.jpg>

4. Кайзер, С. Изучаем квантовые вычисления на Python и Q# [Электронный ресурс] / С. Кайзер, К. Гранад. - Москва : ДМК Пресс, 2021. - 430 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/241091>
<https://e.lanbook.com/img/cover/book/241091.jpg>. - ISBN 978-5-97060-935-4

5. Душкин, Р. В. Квантовые вычисления и функциональное программирование [Электронный ресурс] / Р. В. Душкин. - Москва : ДМК Пресс, 2015. - 232 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/97340>
<https://e.lanbook.com/img/cover/book/97340.jpg>.

6. Тропин, М. П. Основы математической обработки информации : учебное пособие для вузов / М. П. Тропин. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 185 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14978-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/544136> (дата обращения: 06.07.2024).

7. Красавин, А. В. Компьютерный практикум в среде matlab : учебное пособие для вузов / А. В. Красавин, Я. В. Жумагулов. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 277 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08509-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/541314> (дата обращения: 06.07.2024).

8.6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых в образовательном процессе:

- Личный кабинет ЭИОС [Электронный ресурс]. — URL: my.pgups.ru — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. — URL: <https://sdo.pgups.ru> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Научная электронная библиотека eLIBRARY - Режим доступа: <http://elibrary.ru/>, свободный.

Разработчик рабочей программы,
профессор кафедры «ИВС»

Л.М. Божко

«23» декабря 2024 г.