

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)**

Кафедра _____ Информационных управляющих систем
(полное наименование кафедры)



Регистрационный №_22.02/435-Д

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовые вычисления

(наименование дисциплины)

образовательная программа высшего образования

09.03.02 Информационные системы и технологии

(код и наименование направления подготовки / специальности)

бакалавр

(квалификация)

Интеллектуальные информационные системы и технологии

(направленность / профиль образовательной программы)

очная форма, заочная форма

(форма обучения)

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины составлена на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности) подготовки «09.03.02 Информационные системы и технологии», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 № 926, и в соответствии с рабочим учебным планом, утвержденным ректором университета.

1. Цели и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Квантовые вычисления» является: изучение основных принципов квантовой теории информации, а также ее приложений к квантовым вычислениям и квантовой передаче информации.

Эта цель достигается путем решения следующих(ей) задач(и):

изучение основных понятий и определений в области квантовой информатики, изучение квантовых схем и квантовых алгоритмов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовые вычисления» Б1.В.07 является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 учебного плана подготовки бакалавриата по направлению «09.03.02 Информационные системы и технологии». Изучение дисциплины «Квантовые вычисления» опирается на знания дисциплин(ы) «Высшая математика»; «Дискретная математика»; «Информационные технологии».

3. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Таблица 1

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции
1	ПК-1	Способность проводить исследования на всех этапах жизненного цикла программных средств

Индикаторы достижения компетенций

Таблица 2

ПК-1.1	Знать: стандарты, процессы и стадии жизненного цикла программных средств.
ПК-1.2	Уметь: проводить исследования моделей и методов информационных систем и технологий на всех этапах жизненного цикла программных средств.
ПК-1.3	Иметь навыки: проведения исследований на всех этапах жизненного цикла программных средств.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Очная форма обучения

Таблица 3

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры 3
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ	108	108
Контактная работа с обучающимися		50.25	50.25
в том числе:			
Лекции		20	20
Практические занятия (ПЗ)		16	16
Лабораторные работы (ЛР)		14	14

Защита контрольной работы		-
Защита курсовой работы		-
Защита курсового проекта		-
Промежуточная аттестация	0.25	0.25
Самостоятельная работа обучающихся (СРС)	57.75	57.75
в том числе:		
Курсовая работа		-
Курсовой проект		-
И / или другие виды самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам, практическим занятиям, контрольным работам, изучение теоретического материала	49.75	49.75
Подготовка к промежуточной аттестации	8	8
Вид промежуточной аттестации		Зачет

Заочная форма обучения

Таблица 4

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры		
			ус5	5	6
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ	108	8	46	54
Контактная работа с обучающимися		10.55	8	2	0.55
в том числе:					
Лекции		4	4	-	-
Практические занятия (ПЗ)		4	2	2	-
Лабораторные работы (ЛР)		2	2	-	-
Защита контрольной работы		0.3	-	-	0.3
Защита курсовой работы			-	-	-
Защита курсового проекта			-	-	-
Промежуточная аттестация		0.25	-	-	0.25
Самостоятельная работа обучающихся (СРС)		93.45	-	44	49.45
в том числе:					
Курсовая работа			-	-	-
Курсовой проект			-	-	-
И / или другие виды самостоятельной работы: подготовка к лабораторным работам, практическим занятиям, контрольным работам, изучение теоретического материала		93.45	-	44	49.45
Подготовка к промежуточной аттестации		4	-	-	4
Вид промежуточной аттестации			-	-	Зачет

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины.

Таблица 5

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	№ семестра		
			очная	очно-заочная	заочная

1	Раздел 1. Основные принципы квантовой информатики	Математические инструменты для квантовых вычислений. Кванты. Волновая функция. Суперпозиция состояний. Квантовый параллелизм. Квантовое превосходство. Запутанность. Обратимые вычисления. Декогеренция.	3		5
2	Раздел 2. Квантовые операторы	Однокубитные (унарные) операторы Паули (X, Y, Z), Адамара и фазового сдвига (P, S, T). Двухкубитные (бинарные) операторы SWAP и CNOT. Трехкубитные (тернарные) операторы Тоффли (CCNOT) и Фредкина (CSWAP). Простейшие квантовые схемы. Генерация перепутанных состояний. Библиотеки разработки для квантового программирования. Среда квантового программирования Qiskit (Quantum Information Software Kit). Практическая реализация квантовых алгоритмов.	3		5
3	Раздел 3. Квантовые алгоритмы	Алгоритм Дойча-Йожи. Рабочий пример. Создание квантовых оракулов. Алгоритм Бернштейна-Вазирани. Классическое и квантовое решение. Алгоритм Саймона. Квантовое преобразование Фурье. Квантовая оценка фазы. Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера. Квантовая телепортация и сверхплотное кодирование.	3		5
4	Раздел 4. Практические приложения квантовых алгоритмов	Квантовая оценка фазы и собственные состояния кубитов. Фазовое кодирование и квантовая обработка изображений. Гибридные квантово-классические схемы обработки информации. Гибридные квантово-классические нейронные сети (ККНС). Создание и обучение. Вычисление градиента параметров квантовой схемы. Правило сдвига параметров. Тестирование ККНС.	3		5

5.2. Междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами.

Таблица 6

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Нейросетевые технологии
2	Технологии обработки информации

5.3. Разделы дисциплин и виды занятий.

Очная форма обучения

Таблица 7

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лек- ции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Семи- нары	СРС	Всего часов
1	Раздел 1. Основные принципы квантовой информатики	4				12	16
2	Раздел 2. Квантовые операторы	6	4	6		12	28
3	Раздел 3. Квантовые алгоритмы	6	4			12	22

4	Раздел 4. Практические приложения квантовых алгоритмов	4	8	8		13.75	33.75
Итого:		20	16	14	-	49.75	99.75

Заочная форма обучения

Таблица 8

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лек-ции	Практ. занятия	Лаб. занятия	Семи-нары	СРС	Всего часов
1	Раздел 1. Основные принципы квантовой информатики	2				22	24
2	Раздел 2. Квантовые операторы	1				22	23
3	Раздел 3. Квантовые алгоритмы	1	2	2		24	29
4	Раздел 4. Практические приложения квантовых алгоритмов		2			25.45	27.45
Итого:		4	4	2	-	93.45	103.45

6. Лекции

Очная форма обучения

Таблица 9

№ п/п	Номер раздела	Тема лекции	Всего часов
1	1	Математические инструменты для квантовых вычислений. Кванты. Волновая функция.	2
2	1	Суперпозиция состояний. Квантовый параллелизм. Квантовое превосходство. Запутанность. Обратимые вычисления. Декогеренция.	2
3	2	Однокубитные (унарные) операторы Паули (X, Y, Z), Адамара и фазового сдвига (P, S, T). Двухкубитные (бинарные) операторы SWAP и CNOT.	2
4	2	Трехкубитные (тернарные) операторы Тоффоли (CCNOT) и Фредкина (CSWAP). Простейшие квантовые схемы. Генерация перепутанных состояний.	2
5	2	Библиотеки разработки для квантового программирования. Среда квантового программирования Qiskit (Quantum Information Software Kit). Практическая реализация квантовых алгоритмов.	2
6	3	Алгоритм Дойча-Йожи. Рабочий пример. Создание квантовых оракулов. Алгоритм Бернштейна-Вазирани. Классическое и квантовое решение.	2
7	3	Алгоритм Саймона. Квантовое преобразование Фурье. Квантовая оценка фазы.	2
8	3	Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера. Квантовая телепортация и сверхплотное кодирование.	2
9	4	Квантовая оценка фазы и собственные состояния кубитов. Фазовое кодирование и квантовая обработка изображений. Гибридные квантово-классические схемы обработки информации.	2

10	4	Гибридные квантово-классические нейронные сети (ККНС). Создание и обучение. Вычисление градиента параметров квантовой схемы. Правило сдвига параметров. Тестирование ККНС.	2
Итого:			20

Заочная форма обучения

Таблица 10

№ п/п	Номер раздела	Тема лекции	Всего часов
1	1	Математические инструменты для квантовых вычислений. Кванты. Волновая функция. Суперпозиция состояний. Квантовый параллелизм. Квантовое превосходство. Запутанность. Обратимые вычисления. Декогеренция.	2
2	2	Библиотеки разработки для квантового программирования. Среда квантового программирования Qiskit (Quantum Information Software Kit). Практическая реализация квантовых алгоритмов.	1
3	3	Алгоритм Дойча-Йожи. Рабочий пример. Создание квантовых оракулов. Алгоритм Бернштейна-Вазирани. Классическое и квантовое решение.	1
Итого:			4

7. Лабораторный практикум

Очная форма обучения

Таблица 11

№ п/п	Номер раздела	Наименование лабораторной работы	Всего часов
1	2	Изучение работы двухкубитных операторов CNOT и SWAP.	2
2	2	Изучение работы операторов Тоффоли и Фредкина.	2
3	2	Изучение квантового преобразования Фурье.	2
4	4	Квантовая оценка фазы и собственные состояния.	4
5	4	Построение квантовых схем фазовой логики.	4
Итого:			14

Заочная форма обучения

Таблица 12

№ п/п	Номер раздела	Наименование лабораторной работы	Всего часов
1	3	Изучение работы двухкубитных операторов CNOT и SWAP. Изучение квантового преобразования Фурье.	2
Итого:			2

8. Практические занятия (семинары)

Очная форма обучения

Таблица 13

№ п/п	Номер раздела	Тема занятия	Всего часов
1	2	Простейшие квантовые схемы. Генерация перепутанных состояний.	4
2	3	Построение квантового пиксельного шрейдера.	4

3	4	Квантовая обработка изображений методом фазового кодирования.	4
4	4	Построение гибридных квантово-классических схем обработки информации.	4
Итого:			16

Заочная форма обучения

Таблица 14

№ п/п	Номер раздела	Тема занятия	Всего часов
1	3	Построение квантового пиксельного шрейдера.	2
2	4	Квантовая обработка изображений методом фазового кодирования.	2
Итого:			4

9. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Рабочим учебным планом не предусмотрено

10. Самостоятельная работа

Очная форма обучения

Таблица 15

№ п/п	Номер раздела	Содержание самостоятельной работы	Форма контроля	Всего часов
1	1	Изучение математических инструментов для квантовых вычислений.		12
2	2	Изучение практических реализаций квантовых алгоритмов.		12
3	3	Изучение базовых квантовых алгоритмов.		12
4	4	Изучение гибридных квантово-классических нейронных сетей.		13.75
Итого:				49.75

Заочная форма обучения

Таблица 16

№ п/п	Номер раздела	Содержание самостоятельной работы	Форма контроля	Всего часов
1	1	Изучение математических инструментов для квантовых вычислений.		22
2	2	Изучение практических реализаций квантовых алгоритмов.		22
3	3	Изучение базовых квантовых алгоритмов.		24
4	4	Изучение гибридных квантово-классических нейронных сетей.		25.45
Итого:				93.45

11. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для самостоятельной работы по дисциплине рекомендовано следующее учебно-методическое обеспечение:

- Положение о самостоятельной работе студентов в Санкт-Петербургском

- государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;
- рекомендованная основная и дополнительная литература;
 - конспект занятий по дисциплине;
 - слайды-презентации и другой методический материал, используемый на занятиях;
 - методические рекомендации по подготовке письменных работ, требования к их содержанию и оформлению (реферат, эссе, контрольная работа) ;
 - фонды оценочных средств;
 - методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов;

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Фонд оценочных средств разрабатывается в соответствии с локальным актом университета «Положение о фонде оценочных средств» и является приложением (Приложение А) к рабочей программе дисциплины.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Для каждого результата обучения по дисциплине определяются показатели и критерии оценки сформированности компетенций на различных этапах их формирования, шкалы и процедуры оценивания.

13. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

13.1. Основная литература:

1. Шень, А. Х.

Классические и квантовые вычисления : [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Х. Шень, М. Н. Вялый. - 2-е изд. - М. : ИНТУИТ, 2016. - 273 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/100617>. - Б. ц. Книга из коллекции ИНТУИТ - Информатика

13.2. Дополнительная литература:

1. Ильичев, И. В.

Элементарные основы квантовых вычислений. Упражнения и задачи :
[Электронный ресурс] : сборник упражнений / И. В. Ильичев. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 28 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/118442>. - ISBN 978-5-7782-2414-8. Книга из коллекции НГТУ - Физика

2. Хидари, Дж. Д.

Квантовые вычисления : прикладной подход = Quantum computing : an applied approach / Дж. Д. Хидари ; пер. В. А. Яроцкий. - М. : ДМК Пресс, 2021. - 359 с. : ил., цв. ил., табл. - Библиогр.: с. 355-369. - ISBN 978-5-97060-890-6 : 1230.76 р. - Текст : непосредственный.

14. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети интернет из указанного перечня являются рекомендуемыми дополнительными (вспомогательными) источниками официальной информации, размещенной на легальных основаниях с открытым доступом. За полноту содержания и качество работы сайтов несет ответственность правообладатель.

Таблица 17

Наименование ресурса	Адрес
1. Электронная библиотека СПб ГУТ	lib.spbgut.ru/jirbis2_spbgut/index/php
8. Система дистанционного обучения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (Иностранный язык для магистрантов)	lms.spbgut.ru/
2. ЭБС «Айбукс»	ibooks.ru
3. ЭБС «Лань»	e.lanbook.com
4. ЭБС «IPR-books»	www.iprbookshop.ru

15. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

15.1. Программное обеспечение дисциплины:

- Open Office
- Google Chrome

15.2. Информационно-справочные системы:

- ЭБС iBooks (<https://ibooks.ru>)
- ЭБС Лань (<https://e.lanbook.com/>)
- ЭБС СПбГУТ (<http://lib.spbgut.ru>)

15.3. Дополнительные источники

16. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

16.1. Планирование и организация времени, необходимого для изучения дисциплины

Важным условием успешного освоения дисциплины «Квантовые вычисления» является создание системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с графиком образовательного процесса. Большую помощь в этом может оказать составление плана работы на семестр, месяц, неделю, день. Его наличие позволит подчинить свободное время целям учебы, трудиться более успешно и эффективно. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Все задания, включая вынесенные на самостоятельную работу, рекомендуется выполнять непосредственно после соответствующего аудиторного занятия (лекции, практического занятия), что способствует лучшему усвоению материала, позволяет своевременно выявить и устранить пробелы в знаниях, систематизировать ранее пройденный материал, на его основе приступить к овладению новыми знаниями и навыками.

Система университетского обучения основывается на рациональном сочетании нескольких видов учебных занятий (в первую очередь лекций и практических занятий), работа на которых обладает определенной спецификой.

16.2. Подготовка к практическим занятиям

Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке пройденного материала (материала лекций, практических занятий), а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

Необходимо понимать, что невозможно во время аудиторных занятий изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов, и при изучении дисциплины недостаточно конспектов занятий. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

16.3. Рекомендации по работе с литературой

Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться

основные вопросы изучаемой проблемы.

Работу с источниками надо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст, выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения. В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Если в книге нет подробного оглавления, следует обратить внимание обучающегося на предметные и именные указатели.

Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к теме) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала. Такое чтение предполагает выделение: 1) главного в тексте; 2) основных аргументов; 3) выводов. Особое внимание следует обратить на то, вытекает тезис из аргументов или нет. Необходимо также проанализировать, какие из утверждений автора носят проблематичный, гипотетический характер, и уловить скрытые вопросы.

Понятно, что умение таким образом работать с текстом приходит далеко не сразу. Наилучший способ научиться выделять главное в тексте, улавливать проблематичный характер утверждений, давать оценку авторской позиции – это сравнительное чтение, в ходе которого студент знакомится с различными мнениями по одному и тому же вопросу, сравнивает весомость и доказательность аргументов сторон и делает вывод о наибольшей убедительности той или иной позиции.

Если в литературе встречаются разные точки зрения по тому или иному вопросу из-за сложности прошедших событий и правовых явлений, нельзя их отвергать, не разобравшись. При наличии расхождений между авторами необходимо найти рациональное зерно у каждого из них, что позволит глубже усвоить предмет изучения и более критично оценивать изучаемые вопросы. Знакомясь с особыми позициями авторов, нужно определять их схожие суждения, аргументы, выводы, а затем сравнивать их между собой и применять из них ту, которая более убедительна.

Следующим этапом работы с литературными источниками является создание конспектов, фиксирующих основные тезисы и аргументы. Можно делать записи на отдельных листах, которые потом легко систематизировать по отдельным темам изучаемого курса. Другой способ – это ведение тематических тетрадей-конспектов по одной какой-либо теме. Большие специальные работы монографического характера целесообразно конспектировать в отдельных тетрадях. Здесь важно вспомнить, что конспекты пишутся на одной стороне листа, с полями и достаточным для исправления и ремарок межстрочным расстоянием (эти правила соблюдаются для удобства редактирования). Если в конспектах приводятся цитаты, то непременно должно быть дано указание на источник (автор, название, выходные данные, № страницы). Впоследствии эта информация может быть использована при написании текста реферата или другого задания.

Таким образом, при работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;

- фиксировать основное содержание сообщений; формулировать, устно и письменно, основную идею сообщения; составлять план, формулировать тезисы;
- готовить и презентовать развернутые сообщения типа доклада;
- работать в разных режимах (индивидуально, в паре, в группе), взаимодействуя друг с другом;
- пользоваться реферативными и справочными материалами;
- контролировать свои действия и действия своих товарищей, объективно оценивать свои действия;
- обращаться за помощью, дополнительными разъяснениями к преподавателю, другим студентам;
- пользоваться лингвистической или контекстуальной догадкой, словарями различного характера, различного рода подсказками, опорами в тексте (ключевые слова, структура текста, предваряющая информация и др.);
- использовать при говорении и письме перифраз, синонимичные средства, слово-описания общих понятий, разъяснения, примеры, толкования, «словотворчество»
- повторять или перефразировать реплику собеседника в подтверждение понимания его высказывания или вопроса;
- обратиться за помощью к собеседнику (уточнить вопрос, переспросить и др.);
- использовать мимику, жесты (вообще и в тех случаях, когда языковых средств не хватает для выражения тех или иных коммуникативных намерений).

16.4. Подготовка к промежуточной аттестации

При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

17. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Таблица 18

№ п/п	Наименование специализированных аудиторий и лабораторий	Наименование оборудования
1	Лекционная аудитория	Аудио-видео комплекс
2	Аудитории для проведения групповых и практических занятий	Аудио-видео комплекс
3	Компьютерный класс	Персональные компьютеры
4	Аудитория для курсового и дипломного проектирования	Персональные компьютеры
5	Аудитория для самостоятельной работы	Компьютерная техника
6	Читальный зал	Персональные компьютеры