**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Квантовые компьютеры

Quantum Computers

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 2

Регистрационный номер рабочей программы: 002303

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Сформировать у обучающихся общее представление о математической модели квантовых вычислений, основных методах решения задач с помощью квантового компьютера, а также о типах задач, для которых квантовые алгоритмы имеют преимущество над классическими.

Поставленные цели достигаются путем решения следующих задач курса: ознакомление с математической моделью квантовых вычислений, анализ квантовых алгоритмов, получение сравнительных оценок сложности вычислений для различных задач с использованием классических и квантовых вычислителей.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Знание основ информатики, программирования, логики, теории сложности вычислений, алгебры, теории чисел в пределах бакалаврской подготовки.

Дисциплина «Квантовые вычисления» является дополнительным курсом в подготовке профессионального математика-программиста и предназначена для расширения кругозора и возможностей адаптации специалиста на быстро меняющемся рынке труда в сфере информационных технологий.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

В процессе изучения дисциплины «Квантовые вычисления» обучаемые приобретают следующие

Знания:

понимание эволюции вычислительных машин с точки зрения выбора физической основы процесса вычислений;

физическая основа квантовых вычислений и ее преимущества над современными ЭВМ;

математическая модель квантовых вычислений;

некоторые наиболее важные и известные квантовые алгоритмы с доказательством их корректности и оценкой вычислительной сложности;

некоторые известные на данный момент границы квантовых вычислений.

Умения:

анализ квантовых алгоритмов с точки зрения их корректности и оценки вычислительной сложности;

оценка перспектив решения задачи с помощью квантовых вычислителей.

Навыки:

работы с информацией из различных источников, включая сетевые ресурсы сети Интернет, для решения профессиональных задач.

Компетенции:

ОПК-1 – способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;

ОПК-2 – способен применять современный математический аппарат, связанный с проектированием, разработкой, реализацией и оценкой качества программных комплексов в различных областях человеческой деятельности;

ОПК-3 – способен применять современные информационные технологии, в том числе отечественные, при создании программных продуктов и программных комплексов различного назначения;

ОПК-4 – способен участвовать в разработке технической документации программных продуктов и программных комплексов;

ОПК-5 – способен инсталлировать и сопровождать программное обеспечение для информационных систем и баз данных, в том числе отечественного производства;

ПКА-1 – способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий;

ПКА-2 – способен учитывать знания проблем и тенденций развития рынка ПО в профессиональной деятельности;

ПКП-1 – способность проводить под научным руководством исследование на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности;

ПКП-2 – способен решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности;

ПКП-4 – способен применять современные информационные технологии при проектировании, реализации, оценке качества и анализа эффективности программного обеспечения для решения задач в различных предметных областях;

ПКП-5 – способен использовать основные методы и средства автоматизации проектирования, реализации, испытаний и оценки качества при создании конкурентоспособного программного продукта и программных комплексов, а также способен использовать методы и средства автоматизации, связанные с сопровождением, администрированием и модернизацией программных продуктов и программных комплексов;

ПКП-6 – способен использовать знания направлений развития компьютеров с традиционной (нетрадиционной) архитектурой; современных системных программных средств: операционных систем, операционных и сетевых оболочек, сервисных программ; тенденции развития функций и архитектур проблемно-ориентированных программных систем и комплексов в профессиональной деятельности;

ПКП-7 – способен использовать основные концептуальные положения функционального, логического, объектно-ориентированного и визуального направлений программирования, методы, способы и средства разработки программ в рамках этих направлений;

ПКП-8 – способен использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования;

ПКП-9 – способен принимать участие в управлении работами по созданию (модификации) и сопровождению ПО, программных систем и комплексов;

УК-1 – способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Семинары – 24 ак.ч., индивидуальные консультации с преподавателем – 2 ак.ч.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 8 |  | 24 |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 36 |  | 10 |  | 26 | 2 |
|  |  | 2-30 |  |  |  |  |  |  | 2-30 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО |  | 24 |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 36 |  | 10 |  |  | 2 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 8 |  |  | зачёт, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п.п.** | **Наименование темы (раздела, части)** | **Вид учебных занятий** | **Кол-во часов** |
| 1 | Введение. Основные понятия и этапы развития вычислительных средств  Понятие вычислений как смены состояний физического процесса. Виды процессов, реализующих вычисления. Поколения ЭВМ. | семинары | 2 |
| по методическим материалам | 3 |
| 2 | Физическая основа квантовых вычислений.  Краткое введение в математический аппарат квантовой механики.  Математическая модель квантовых вычислений  Понятие кубита, системы кубитов, измерения, эволюции квантовой системы, квантовых гейтов. Решение задач.  Структура квантовых алгоритмов.  Разбор простых квантовых алгоритмов, решение задач Дойча, Дойча-Джозсы, Берштейна-Вазирани, Саймона. Алгоритмы квантовой криптографии. Квантовая телепортация. Анализ корректности рассмотренных алгоритмов и оценка их сложности. | семинары | 12 |
| по методическим материалам | 18 |
| 3 | Алгоритм Гровера с доказательством его оптимальности.  Рассмотрение алгоритма Гровера для поиска в несортированной базе данных. Доказательство его корректности. Оценка сложности. Построение нижней оценки сложности задачи поиска в несортированной базе данных с помощью обобщенного квантового алгоритма. | семинары | 2 |
| по методическим материалам | 3 |
| 4 | Практическая важность задачи поиска периода функции.  Сведение задачи факторизации к задаче поиска периода функции. Алгоритм RSA и его анализ. Важность задачи факторизации на примере RSA.  Алгоритм Шора.  Квантовое преобразование Фурье и его эффективная реализация на квантовом вычислителе. Поиск периода функции с использованием квантового преобразования Фурье. Оценка вероятности успешного результата применения рассмотренного алгоритма. | семинары | 4 |
| по методическим материалам | 6 |
| 5 | Некоторые границы квантовых вычислений.  Пример задачи, для которой квантовые вычисления не имеют преимущества по сравнению с классическими. Обоснование нижней оценки сложности для рассмотренной задачи. | семинары | 2 |
| по методическим материалам | 3 |
| 6 | Современное состояние дел в области разработки квантовых вычислителей.  Доклады обучающихся на тему современных физических явлений и процессов, используемых для построения квантовых компьютеров. | семинары | 2 |
| по методическим материалам | 3 |
| 7 | Промежуточная аттестация | самостоятельная работа | 10 |
| зачёт | 2 |
| **Итого** | | | **72** |

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению лекций, участию в обсуждении рассматриваемых вопросов, самостоятельной работе, включающей в себя чтение специальной литературы по разделам темы.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Самостоятельная работа обучающихся в рамках данной дисциплины является полезным дополнением к посещению лекций.

Настоящей программой предусмотрены формы самостоятельной работы с использованием методических материалов по тематике курса и источников, указанных в обязательной, дополнительной литературе и интернет-источниках, указанных в данной программе.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Аппарат контроля за усвоением материала включает в себя устный зачёт по итогам курса либо прохождение онлайн-курса СПбГУ «Введение в квантовые вычисления», подтвержденное сертификатом.

При прохождении обучающимся онлайн-курса, оценка выставляется в соответствие с результатами решения задач на онлайн-платформе по следующей схеме:

79% и ниже – оценка «незачёт»;

80% и выше – оценка «зачёт».

В ходе устного зачёта обучающийся случайным образом выбирает билет, содержащий два вопроса – теоретический материал и задачу. Время на подготовку – 30 минут. При подготовке разрешается пользоваться литературой.

При ответе теоретической части билета преподаватель задает дополнительные вопросы, цель которых – проверка понимания обучающимся базовой части курса – математической модели квантовых вычислений.

Для получения оценки «зачёт» обучающийся должен изложить теоретическую часть билета и ответить на дополнительные вопросы преподавателя. Допускается неправильное решение задачи из билета.

Для получения оценки «незачёт» обучающийся должен продемонстрировать отсутствие базовых знаний о математической модели квантовых вычислений в своих ответах на вопросы преподавателя.

Критерии оценивания в соответствие с ECTS:

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнение требований | Оценка |
| При прохождении онлайн-курса набрано более 96 баллов  либо на зачёте обучающийся ответил теоретическую часть билета, ответил на дополнительные вопросы преподавателя и решил задачу из билета. | A |
| При прохождении онлайн-курса набрано более 92 но менее 97 баллов  либо на зачёте обучающийся ответил теоретическую часть билета, ответил на дополнительные вопросы преподавателя и не решил задачу из билета. | B |
| При прохождении онлайн-курса набрано более 87 но менее 93 баллов  либо на зачёте обучающийся ответил теоретическую часть билета, но не ответил на сложные дополнительные вопросы преподавателя или не решил задачу из билета. | C |
| При прохождении онлайн-курса набрано более 84 но менее 88 баллов  либо на зачёте обучающийся ответил теоретическую часть билета, но не ответил на сложные дополнительные вопросы преподавателя и не решил задачу из билета. | D |
| При прохождении онлайн-курса набрано более 79 но менее 85 баллов  либо на зачёте обучающийся ответил теоретическую часть билета, но не ответил на простые дополнительные вопросы преподавателя и не решил задачу из билета. | E |
| При прохождении онлайн-курса набрано менее 80 баллов  либо на зачёте обучающийся не ответил теоретическую часть билета либо продемонстрировал полное непонимание математической модели квантовых вычислений, отвечая на вопросы преподавателя. | F |

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Пример списка теоретических вопросов для зачёта:

1. Алгоритм Дойча.
2. Алгоритм Дойча-Джозсы.
3. Алгоритм Бернштейна-Вазирани.
4. Алгоритм Саймона.
5. Алгоритм квантового распределения ключей BB84.
6. Алгоритм квантового распределения ключей E91.
7. Квантовая телепортация.
8. Реализация QFT на квантовом компьютере.
9. Алгоритм Шора.
10. Алгоритм Гровера.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки содержания и качества учебного процесса может применяться тестирование в соответствии с методикой и графиком, утверждаемым в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К чтению лекций привлекаются преподаватели, имеющие базовое образование и/или ученую степень соответствующую профилю преподаваемой дисциплины.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Не требуется.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Стандартно оборудованные лекционные аудитории: доска.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Нет.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Нет.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Нет.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Мел.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. Сысоев С.С. Введение в квантовые вычисления. Квантовые алгоритмы: Учебное пособие.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. John Preskill. Lectures on Quantum Computing. http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/
2. Michael L. Garey, David S. Johnson. Computers and Intractability. W.H.Freeman & Company, NY, 1979.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

Ресурсы сети Интернет.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Сысоев Сергей Сергеевич, доцент мат-мех факультета СПбГУ, [s.s.sysoev@spbu.ru](mailto:s.s.sysoev@spbu.ru), тел. 633-07-92.