



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ИГУ»)**  
Институт математики и информационных технологий  
Кафедра информационных технологий



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Б1.В.08 Квантовые вычисления**

Направление подготовки информационные технологии	02.03.02	Фундаментальная	информатика	и
Направленность (профиль) подготовки программная инженерия		Фундаментальная информатика и		
Квалификация выпускника		бакалавр		
Форма обучения		очная		

Иркутск 2025 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель

Введение в перспективный и бурно развивающийся раздел теории алгоритмов.

### Задачи:

- познакомить студентов с обратимыми вычислениями;
- познакомить студентов с идеями квантовых алгоритмов;
- показать возможность практического использования квантовых вычислений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

2.1. Учебная дисциплина (модуль) относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений, и изучается на четвертом курсе.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы знания, умения и навыки, сформированные предшествующими дисциплинами: «Линейная алгебра», «Дискретная математика», «Математическая логика», «Теория вероятностей».

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: Выпускная квалификационная работа.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО по соответствующему направлению подготовки.

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-3 Способность понимать и применять в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат, теоретические основы информатики	ИДК ПК3.1 Способен понимать современный математический аппарат и теоретические основы информатики	Знает современный математический аппарат и теоретические основы информатики. Умеет применять знания для отслеживания современных тенденций развития математики и информатики. Владеет навыками проведения исследований.
	ИДК ПК3.2 Способен применять в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат	Знает современный математический аппарат и теоретические основы информатики. Умеет создавать математические модели предметных областей. Владеет методами и технологиями применения современного математического аппарата.
	ИДК ПК3.3 Способен применять в научно-исследовательской и прикладной деятельности теоретические основы ин-	Знает современный математический аппарат и теоретические основы информатики. Умеет создавать информационные модели предметных обла-

	форматики	стей. Владеет методами и технологиями применения современного аппарата информатики.
ПК-2 Способность проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности, принимать участие в научных дискуссиях, выступать с сообщениями и докладами, устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представлять материалы собственных исследований; проводить корректуру, редактирование, реферирование работ.	ИДК ПК2.1 Имеет навык подготовки и проведения публичных докладов по темам выполняемых работ	Знает технологии и инструментальные средства работы с презентациями. Умеет логично выстраивать подаваемую для широкой аудитории информацию. Владеет приемами использования устной речи.
	ИДК ПК2.2 Владеет технологиями подготовки документов, способен проводить корректуру, редактирование, реферирование работ.	Знает основные требования по представлению научных результатов для публикации. Умеет формулировать и представлять научные результаты в форме публикаций. Владеет информационными технологиями для представления научных результатов в форме публикаций.
	ИДК ПК2.3 Способен проводить под научным руководством исследования на основе существующих методов в области профессиональной деятельности	Знает предметную область и математический аппарат для ее моделирования. Умеет использовать возможности вычислительной техники для научных исследований Владеет навыками построения формальных моделей и перехода от предметной области к модели и обратно.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов, в том числе лекций –16 часов, практические занятия – 34 часа.  
 Форма промежуточной аттестации: 7 семестр – экзамен.

##### 4.1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ, С УКАЗАНИЕМ ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ И ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа + контроль	
			Лекции	Семинарские (практические занятия)	Контроль обучения		
1	Классические алгоритмы	7	2	4	4	8	Задания в МТ
	1.1. Машины Тьюринга. Вычислимые функции. Сложность вычислений.			2		4	
	1.2. Сложность вычислений. Классы P и NP. Примеры NP-полных задач. Пределы классических вычислителей.			2		4	
2	Математическая модель квантовых вычислений	7	6	16	16	20	Контрольные задания Презентации
	2.1. Фотон, поляризация. Кодирование $\{0,1\}$ поляризацией фотона. Кубит. Система кубитов.			2		4	
	2.2. Пространство состояний. Операторы. Кронекерово произведение.			2		2	
	2.3. Квантовые вероятности. Измерение состояния. Элементарные преобразования. Унитарные преобразования. Преобразования Паули. Преобразование Уолша-Адамара.			6		6	
	2.4. Квантовый канал связи.			2		2	

	2.5. Клонирование. Телепортация. Сверхплотное кодирование.			2		2	
	2.6. Обратимые вычисления.			2		4	
3	Квантовые алгоритмы	7	8	14	16	20	Контрольные задания Презентации
	3.1. Алгоритм Дойча-Йожи.			2		2	
	3.2. Алгоритм Саймона.			2		4	
	3.3. Преобразование Фурье			2		4	
	3.4. Факторизация. Алгоритм Шора.			6		6	
	3.5. Алгоритм Гровера			2		4	
<b>Итого часов</b>			16	34	36	48	

#### 4.2. ПЛАН ВНЕАУДИТОРНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Се- местр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное сред- ство	Учебно- методическое обеспечение са- мостоятельной работы
		Вид самостоя- тельной работы	Сроки выполне- ния	Затраты времени (час.)		
7	Раздел 1. Классические алгоритмы	УИЛТИн	1-2 нед.	8	Задания в МТ	ИОС DOMIC; литература 1,3
7	Раздел 2. Математическая модель квантовых вычислений	УИЛТИн	3-9 нед.	20	Презентация	литература 1-4; периодические издания 1
7	Раздел 3. Квантовые алгоритмы	УИЛТИн	10-17 нед.	20	Презентация	литература 1-4; периодические издания 1
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				48		

### 4.3. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

#### 1. Классические алгоритмы.

Машины Тьюринга. Вычислимые функции. Сложность вычислений. Классы P и NP. Примеры NP-полных задач. Пределы классических вычислителей.

#### 2. Математическая модель квантовых вычислений.

Кубит и система кубитов. Пространство состояний. Кронекерово произведение. Квантовые вероятности. Измерение состояния. Квантовый канал связи. Элементарные преобразования. Унитарные преобразования. Преобразования Паули. Преобразование Уолша-Адамара. Инверсия и диффузия. Запрет квантового клонирования. Квантовая телепортация. Сверхплотное кодирование. Обратимые вычисления.

#### 3. Квантовые алгоритмы.

Алгоритм Дойча-Йожи. Задача о нахождении периода функции. Алгоритм Саймона. Дискретное преобразование Фурье. Факторизация. Алгоритм Шора. Поисковый алгоритм Гровера.

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	1.1.	Машины Тьюринга. Вычислимые функции. Сложность вычислений.	2	2	Задание МТ	См. п. 3
	1.2.	Сложность вычислений. Классы P и NP. Примеры NP-полных задач. Пределы классических вычислителей.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
2	2.1.	Фотон, поляризация. Кодирование $\{0,1\}$ поляризацией фотона. Кубит. Система кубитов.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	2.2.	Пространство состояний. Операторы. Кронекерово произведение.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3

	2.3.	Квантовые вероятности. Измерение состояния. Элементарные преобразования. Унитарные преобразования. Преобразования Паули. Преобразование Уолша-Адамара.	6	6	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	2.4.	Квантовый канал связи.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	2.5.	Клонирование. Телепортация. Сверхплотное кодирование.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	2.6.	Обратимые вычисления.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
3	3.1.	Алгоритм Дойча-Йожи.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	3.2.	Алгоритм Саймона.	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	3.3.	Преобразование Фурье	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	3.4.	Факторизация. Алгоритм Шора.	6	6	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
	3.5.	Алгоритм Гровера	2	2	Устный опрос, письменные задания	См. п. 3
		<b>Всего</b>	34			

**4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СР)**  
Не предусмотрено.

#### **4.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Самостоятельная работа студентов всех форм и видов обучения является одним из обязательных видов образовательной деятельности, обеспечивающей реализацию требований Федеральных государственных стандартов высшего образования. Согласно требованиям нормативных документов самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом образовательного процесса, так как она обеспечивает закрепление получаемых на лекционных занятиях знаний путем приобретения навыков осмысления и расширения их содержания, навыков решения актуальных проблем формирования общекультурных и профессиональных компетенций, научно-исследовательской деятельности, подготовки к семинарам, лабораторным работам, сдаче зачетов и экзаменов. Самостоятельная работа студентов представляет собой совокупность аудиторных и внеаудиторных занятий и работ. Самостоятельная работа в рамках образовательного процесса в вузе решает следующие задачи:

- закрепление и расширение знаний, умений, полученных студентами во время аудиторных и внеаудиторных занятий, превращение их в стереотипы умственной и физической деятельности;
- приобретение дополнительных знаний и навыков по дисциплинам учебного плана;
- формирование и развитие знаний и навыков, связанных с научно-исследовательской деятельностью;
- развитие ориентации и установки на качественное освоение образовательной программы;

- развитие навыков самоорганизации;
- формирование самостоятельности мышления, способности к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной теоретической, практической и учебно-исследовательской деятельности.

**Подготовка к лекции.** Качество освоения содержания конкретной дисциплины прямо зависит от того, насколько студент сам, без внешнего принуждения формирует у себя установку на получение на лекциях новых знаний, дополняющих уже имеющиеся по данной дисциплине. Время на подготовку студентов к двухчасовой лекции по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

**Подготовка к практическому занятию.** Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. Студенты должны дома подготовить к занятию 3–4 примера формулировки темы исследования, представленного в монографиях, научных статьях, отчетах. Затем они самостоятельно осуществляют поиск соответствующих источников, определяют актуальность конкретного исследования процессов и явлений, выделяют основные способы доказательства авторами научных работ ценности того, чем они занимаются. В ходе самого практического занятия студенты сначала представляют найденные ими варианты формулировки актуальности исследования, обсуждают их и обосновывают свое мнение о наилучшем варианте. Время на подготовку к практическому занятию по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

**Подготовка к лабораторному занятию.** Самостоятельная подготовка к лабораторному занятию направлена: на развитие способности к чтению научной и иной литературы; на поиск дополнительной информации в сети Интернет, позволяющей глубже разобраться в некоторых вопросах; на выделение при работе с разными источниками необходимой информации, которая требуется для полноценного выполнения практических заданий; на развитие умения осуществлять анализ выбранных источников информации, оценивания достоверности источника; на возможность самостоятельного решения ряда задач, предложенных для самостоятельного прорешивания. Время на подготовку к лабораторному занятию по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

**Подготовка к коллоквиуму.** Коллоквиум представляет собой коллективное обсуждение раздела дисциплины на основе самостоятельного изучения этого раздела студентами. Подготовка к данному виду учебных занятий осуществляется в следующем порядке. Преподаватель дает список вопросов, ответы на которые следует получить при изучении определенного перечня научных источников. Студентам во внеаудиторное время необходимо прочитать специальную литературу, выписать из нее ответы на вопросы, которые будут обсуждаться на коллоквиуме, мысленно сформулировать свое мнение по каждому из вопросов, которое они выскажут на занятии. Время на подготовку к коллоквиуму по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

**Подготовка к контрольной работе.** Контрольная работа назначается после изучения определенного раздела (разделов) дисциплины и представляет собой совокупность развернутых письменных ответов студентов на вопросы, которые они заранее получают от преподавателя. Самостоятельная подготовка к контрольной работе включает в себя: — изучение конспектов лекций, раскрывающих материал, знание которого проверяется контрольной работой; повторение учебного материала, полученного при подготовке к семинарским, практическим за-

нениям и во время их проведения; изучение дополнительной литературы, в которой конкретизируется содержание проверяемых знаний; составление в мысленной форме ответов на поставленные в контрольной работе вопросы; формирование психологической установки на успешное выполнение всех заданий. Время на подготовку к контрольной работе по нормативам составляет 2 часа.

**Подготовка к зачету.** Самостоятельная подготовка к зачету должна осуществляться в течение всего семестра. Подготовка включает следующие действия: перечитать все лекции, а также материалы, которые готовились к семинарским и практическим занятиям в течение семестра, соотнести эту информацию с вопросами, которые даны к зачету, если информации недостаточно, ответы находят в предложенной преподавателем литературе. Рекомендуется делать краткие записи. Время на подготовку к зачету по нормативам составляет не менее 4 часов.

**Подготовка к экзамену.** Самостоятельная подготовка к экзамену схожа с подготовкой к зачету, особенно если он дифференцированный. Но объем учебного материала, который нужно восстановить в памяти к экзамену, вновь осмыслить и понять, значительно больше, поэтому требуется больше времени и умственных усилий. Важно сформировать целостное представление о содержании ответа на каждый вопрос, что предполагает знание разных научных трактовок сущности того или иного явления, процесса, умение раскрывать факторы, определяющие их противоречивость, знание имен ученых, изучавших обсуждаемую проблему. Необходимо также привести информацию о материалах эмпирических исследований, что указывает на всестороннюю подготовку студента к экзамену. Время на подготовку к экзамену по нормативам составляет 36 часов для бакалавров.

В ФБГОУ ВО «ИГУ» организация самостоятельной работы студентов регламентируется Положением о самостоятельной работе студентов, принятым Ученым советом ИГУ 22 июня 2012 г

#### **4.5. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ (ПРОЕКТОВ)**

Не предусмотрено.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **а) перечень литературы**

1. Кайе, Ф. Введение в квантовые вычисления [Электронный ресурс] : [учебник] / Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска — An Introduction to Quantum Computing. — Электрон. текстовые дан. — Москва : Институт компьютерных исследований ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2009. — 360 с. ; нет. — Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/301502?urlId=mU2YI3RUg0bWISOULLcNfXwq7y3OJI7kd+NogbZlsc4PKRTLby67BkAX5D+CxtTyA18qLNB R/w2WNIOGkSq3JQ==>. - ЭБС "Рукопт". — неогранич. доступ.

2. Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита [Электронный ресурс] : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — 1-е изд. — Электрон. текстовые дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/111888>. — ЭБС "Лань". — неогранич. доступ.

3. Ильичев, И. В. Элементарные основы квантовых вычислений. Упражнения и задачи : учебное пособие / И. В. Ильичев. — Новосибирск : НГТУ, 2014. — 28 с. — ISBN 978-5-7782-2414-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118442>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Хидари, Дж. Д. Квантовые вычисления: прикладной подход [Электронный ресурс] / Дж. Д. Хидари. — Электрон. текстовые дан. — Москва : ДМК Пресс, 2021. — 370 с. : ил. — Режим доступа: <https://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=378215>, <https://ibooks.ru/resize/w188/images/T/978-5-97060-890-6.jpg>. - ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. — ISBN 978-5-97060-890-6.

5. Перри, Р. Элементарное введение в квантовые вычисления. Пер. с англ.: Учебное пособие / Р.Перри. — 2-е изд. — Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2018. — 208 с. — ISBN 978-5-91559-249-9. (учебная библиотека 20 экз)

### **б) периодические издания**

1. Риффель Э., Полак В. Основы квантовых вычислений // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. 2000. Т. 1. № 1. С. 4-57.

### **в) список авторских методических разработок:**

1. ИОС DOMIC.

### **г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. <http://xxx.lanl.gov> – архив статей в электронном виде, раздел квантовая физика.

2. <http://www.intuit.ru/studies/courses/1057/136/info> – Классические и квантовые вычисления. НОУ «Интуит».

3. <http://www.qubit.org> – Центр по квантовым вычислениям университета Оксфорда с популярными и научными статьями по квантовым вычислениям

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ:**

Для проведения занятий необходима аудитория с презентационным оборудованием и белой доской.

### **6.2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Стандартное программное обеспечение для возможности демонстрации презентаций.

### 6.3.ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА:

ИОС DOMIC, презентационное оборудование, персональный компьютер с возможностью демонстрации презентаций в формате pdf.

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации данного курса используются следующие образовательные технологии: технологии традиционного обучения, технологии проблемного обучения, технологии обучения в сотрудничестве, технологии контекстного обучения, интерактивные технологии, технологии дистанционного обучения.

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

Не предусмотрены.

### 8.2. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Контролируемые компетенции/ индикаторы
1	2	3	4
1	Презентация	Раздел 1. Классические алгоритмы Раздел 2. Математическая модель квантовых вычислений Раздел 3. Квантовые алгоритмы.	ПК-3/ ИДК ПК3.1 ПК-3/ ИДК ПК3.2 ПК-3/ ИДК ПК3.3 ПК-2/ ИДК ПК2.1 ПК-2/ ИДК ПК2.2
2	Контрольная работа	Раздел 2. Математическая модель квантовых вычислений	ПК-3/ ИДК ПК3.1 ПК-3/ ИДК ПК3.2 ПК-3/ ИДК ПК3.3 ПК-2/ ИДК ПК2.3
3	Контрольная работа	Раздел 2. Математическая модель квантовых вычислений Раздел 3. Квантовые алгоритмы.	ПК-3/ ИДК ПК3.1 ПК-3/ ИДК ПК3.2 ПК-3/ ИДК ПК3.3 ПК-2/ ИДК ПК2.3

#### Примерный список презентаций:

1. Классические вычислительные устройства.
2. Проблема:  $P = NP$ ?
3. Квантовый канал связи.
4. Телепортация состояния кубита.
5. Работа алгоритма Дойча-Йожи для любых функций.
6. Дискретное преобразование Фурье.
7. Оператор отражения относительно среднего.

- 8. Преобразование Уолша-Адамара.
- 10. Алгоритм Саймона. Вычисление вероятности успеха.
- 11. Факторизация. Функция Эйлера.
- 12. Задача о нахождении периода.

Вариант контрольной работы №1

- 1. Функцию  $f = (0111\ 1110)$  представить обратимой: а) подстановкой, б) таблицей.
- 2. Представить обратимую функцию в матричном виде

$t$	$x$	$y$	$z$	$f$	$x$	$y$	$z$
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	1

- 3. Представить перестановочную матрицу  $M$  в виде вектора

```

0010000000000000
0000000100000000
00000000000000010
00000000000000100
00000000000100000
00000000000010000
00010000000000000
00000000000100000
01000000000000000
10000000000000000
00000100000000000
00001000000000000
00000000100000000
00000000000000001
00000000010000000
00000010000000000

```

- 4. Выполнить преобразование  $M(\varphi)$  вектора  $\varphi = (000011110000\ 1111)$

Вариант контрольной работы № 2

Алгоритм Дойча-Йожи

Рассмотрим два класса булевых функций. Первый класс содержит все константные функции, т.е. функции, вектор которых состоит либо из одних 0 либо из одних 1. Второй класс содержит все функции, вектор которых содержит половину 0 и половину 1, их называют сбалансированными функциями.

Задача заключается в определении класса, к которому принадлежит заданная функция.

Алгоритм решения этой задачи в терминах линейных преобразований пространства  $\mathbb{C}^{2^{\otimes(n+1)}}$ . Итак, имеется  $f^n$ , заданная своей матрицей  $M_f$ ,

Входными данными для алгоритма будет вектор  $\varphi_0$  из  $\mathbb{C}^{2^{\otimes(n+1)}}$  длины  $2^{n+1}$ , имеющий вид

$$\varphi_0 = (10\dots 0)^t = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

**Первый шаг** алгоритма заключается в применении к  $\varphi_0$  преобразования  $T_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$ . Это преобразование действует на половину компонент вектора  $\varphi_0$  как преобразование Адамара, и тождественное на второй половине компонент  $\varphi_0$ . В результате получается вектор  $\varphi_1$ , который можно представить в виде:

$$\varphi_1 = T_0 \varphi_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

или  $\varphi_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2^n}} (11\dots 1)^t = \frac{1}{\sqrt{2^n}} (1\dots 10\dots 0)^t$ .

**Второй шаг** заключается в применении функции  $M_f$  к вектору  $\varphi_1$ . Полученный вектор  $\varphi_2$  есть перестановка компонент между верхней и нижней половинами вектора  $\varphi_1$  согласно  $M_f$

$$\varphi_2 = M_f \varphi_1.$$

На **третьем шаге** преобразование  $T_1$  вектора  $\varphi_2$  можно представить в виде следующего произведения

$$T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & -1 \end{pmatrix}.$$

Такое преобразование вторую половину компонент вектора  $\varphi_2$  умножает на  $-1$ , оставляя первую без изменения

$$\varphi_3 = T_1 \varphi_2.$$

**Четвертый шаг** повторяет применение функции  $M_f$ , но к вектору  $\varphi_3$ . Ввиду обратимости преобразования  $M_f$  на самом деле происходит в каком-то смысле восстановление вектора  $\varphi_1$ , однако с изменением знака тех его компонент, которые на шаге 2 были переставлены во вторую половину вектора  $\varphi_2$ .

$\varphi_4 = M_f \varphi_3 = \frac{1}{\sqrt{2^n}} ((-1)^{\alpha_1} \dots (-1)^{\alpha_{2^n}} 0 \dots 0)^t = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2^n}} ((-1)^{\alpha_1} \dots (-1)^{\alpha_{2^n}})^t$ , где  $\alpha_i = 1$ , если была соответствующая перестановка и  $\alpha_i = 0$ , в противном случае.

**Пятый шаг** повторяет шаг 1: применяется преобразование  $T_0$  к вектору  $\varphi_4$ . Это можно представить в следующем виде:

$$\varphi_5 = T_0 \varphi_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{2^n} \left( \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \right) ((-1)^{\alpha_1} \dots (-1)^{\alpha_{2^n}})^t.$$

Пусть  $\varphi_5 = (\tau_0 \tau_1 \tau_2 \dots \tau_{2^n})^t$ . Рассмотрим вектор  $\varphi_4$  для случая константной функции  $f^n$ . Если  $f^n \equiv 0$ , то выполняется  $\alpha_i = 0$  для всех  $i$ ; если  $f^n \equiv 1$ , то выполняется  $\alpha_i = 1$  для всех  $i$ . По свойствам матрицы Адамара получаем вид вектора  $\varphi_5 = ((\pm 1)0\dots 0)^t$ .

Для случая сбалансированной функции  $f^n$  половина  $\alpha_i$  будет равна 0 и половина равна 1. Откуда следует, что вектор  $\varphi_5$  имеет представление  $\varphi_5 = (0\tau_1\tau_2\dots\tau_{2^n})^t$ .

Последним **шестым шагом** алгоритма является измерение. Для этого достаточно найти скалярное произведение измеряемого вектора на его проекцию.

Рассмотрим проекцию  $\varphi_5$  на подпространство, порожденное вектором  $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = (10\dots 0)^t$ . Матрица оператора проектирования имеет вид:  $\text{Pr} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ . Результат проектирования получается непосредственными вычислениями  $\text{Pr}\varphi_5 = \left( \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \otimes \dots \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right) (\tau_0 \tau_1 \dots \tau_{2^n})^t = (\tau_0 0 \dots 0)^t$ .

Окончательно измерение представлено функционалом

$$r = (\varphi_5, \text{Pr}\varphi_5) = ((\tau_0 \tau_1 \dots \tau_{2^n}), (\tau_0 0 \dots 0)^t) = |\tau_0|^2.$$

Задание 1. Проверить функцию  $f(x_1, x_2, x_3) = (10010110)$  на принадлежность классам.

Задание 2. Проверить функцию  $g(x_1, x_2, x_3) = (11111111)$  на принадлежность классам.

Задание 3. Исследовать вероятностное распределение для функции  $g(x_1, x_2, x_3) = (11101111)$ .

Задание 4. Исследовать вероятностное распределение для функции  $g(x_1, x_2, x_3) = (10100010)$ .

### 8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ

#### Материалы для проведения промежуточного контроля знаний студентов:

Экзамен устный. Будет предложен билет с 1 вопросом. Итоговая оценка экзамена учитывает ответ на вопрос из билета и работу в семестре по результатам 2-х контрольных работ.

#### Примерный список вопросов к экзамену:

1. Классические вычисления. Машина Тьюринга. Вычисляемые функции.
2. Пределы классических вычислителей.
3. Понятие кубита (квантового бита).
4. Квантовые системы. Состояние квантовой системы.
5. Измерение состояния. Квантовые вероятности.
6. Пространство состояний. Базисы. Кронекерово произведение.
7. Элементарные преобразования. Унитарные преобразования.
8. Преобразование Уолша-Адамара.
9. Инверсия и диффузия.
10. Принцип квантовой связи.
11. Запрет квантового клонирования.

12. Квантовая телепортация.
13. Алгоритм Дойча-Йожи.
14. Задача о нахождении периода функции. Алгоритм Саймона.
15. Квантовое преобразование Фурье.
18. Факторизация.
19. Алгоритм Шора.
20. Поисковый алгоритм Гровера.

**Разработчик:**



---

(подпись)

профессор кафедры АиИС ИМИТ ИГУ С.Ф.Винокуров  
(занимаемая должность) (Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» (уровень бакалавриата), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 808, зарегистрированный в Минюсте России «14» сентября 2017 г. № 48185 с изменениями и дополнениями с изменениями и дополнениями от: 26 ноября 2020 г., 8 февраля 2021 г.