

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

Регистрационный номер 011020

Комитета Российской Федерации по печати  
Научно-образовательный и прикладной журнал

Издается с 1973 г.

Периодичность серии 6 номеров в год

№ 1(165) 2012г.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### СОДЕРЖАНИЕ

#### УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

- Левшин С.А., Горепекин А.В.* Использование временных функций для моделирования вычислительных систем..... 3
- Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Евсеев О.К.* Методика моделирования квантовых вычислений..... 9
- Беликов И.Ю., Ковалев О.Ф.* Метод поиска формантных частот в речевом сигнале на основе быстрого алгоритма вейвлет-преобразования Хаара..... 13
- Пушенко А.В., Самойлов А.Г., Хади Р.А.* Методика статического поиска скрытых групп в атрибутированных коммуникативных сетях..... 17
- Шаповалов В.Н., Чурилов С.А., Мамай И.В.* SSA-форма для массивов и её применения..... 23
- Валукевич Ю.А., Аленко А.В.* Планирование траектории перемещения манипулятора с подвесом схвата на гибких звеньях (Часть 2)..... 28

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Попов А.П.* Оценка точности определения латентных параметров в новой модели тестирования..... 32
- Ляшенко А.Ю.* Моделирование процесса взаимодействия ковша экскаватора с рабочей средой..... 35

#### ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

- Павленко А.В., Хорошев А.С., Пузин В.С., Медведев В.В., Щучкин Д.А.* Геометрические модели круглопрядных канатов с повреждениями для моделирования магнитных полей методом конечных элементов..... 40
- Павленко А.В., Гильмияров К.Р.* Способ управления резонансным электромагнитным приводом клапана газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания..... 46
- Шафорост Д.А., Ощепков А.С., Рыжков А.В.* Моделирование процессов воспламенения и горения низкорекреационного угля в потоке воздуха с активированным окислителем..... 50
- Бабаяев Б.Д., Баламирзоев А.Г.* Оптимизация энергообеспечения автономного потребителя с использованием возобновляемых источников энергии и ЭВМ.... 53
- Шпрекхер Д.М.* Разработка специального программного обеспечения для диагностирования технического состояния электромеханических систем..... 57
- Ефимов Н.Н., Паршуков В.И., Папин В.В., Янченко И.В., Машков А.В., Безуглов Р.В., Бундииков А.В.* Система отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения на базе возобновляемых источников энергии для южного федерального округа..... 62

### CONTENTS

#### CONTROL, COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION

- Levshin S.A., Gorepekin A.V.* Use of Time Functions for Simulation of Computer Systems..... 3
- Guzik V.F., Gushansky S.M., Evseev O.K.* Technique for Quantum Computing Modeling..... 9
- Belikov I.U., Kovalev O.F.* Technique for Modeling Quantum Computation..... 13
- Pushenko A.V., Samoylov A.G., Khady R.A.* On Methodology of Static Detection of Hidden Groups in Attributive Communicative Networks..... 17
- Shapovalov V.N., Churilov S.A., Mamay I.V.* SSA-Form for Arrays and its Applications..... 23
- Valukevich U.A., Alepko A.V.* Planning the Trajectory of Movement of the Gripper Arm with Suspension on the Flexible Links (Part 2)..... 28

#### MATHEMATICAL MODELING

- Popov A.P.* Estimation of Accuracy of the Latent Parameters in this Model Test..... 32
- Lyashenko A.U.* Modeling the Process of Interaction of the Excavator Bucket with Working Environment..... 35

#### ELECTROMECHANICS AND POWER ENGINEERING

- Pavlenko A.V., Khoroshev A.S., Puzin V.S., Medvedev V.V., Tchoutchkin D.A.* Geometric Models of Round Strand Ropes with Injuries for Modeling of Magnetic Fields by Finite Element Method..... 40
- Pavlenko A.V., Giltmiyarov K.R.* Control Method the Resonant Electromagnetic Actuator for Valves Mechanism Gas Exchange of an Internal Combustion Engine..... 46
- Shaforost D.A., Oshepkov A.S., Ryzhkov A.V.* Modeling of Processes of Ignition and Burning of Lowreactionary Coal in a Stream of Air with the Activated Oxidizer..... 50
- Babaev B.D., Balamirzoev A.G.* Optimization of Energy Autonomous Consumers Using Renewable Energy Sources and Computer..... 53
- Shprekher D.M.* Development of Special Software for Diagnostics of the Technical Condition of the Electromechanic Systems..... 57
- Efimov N.N., Parshukov V.I., Papin V.V., Yanchenko I.V., Mashkov A.V., Bezuglov R.V., Bundikov A.V.* System of Heating, Air-Conditioning and Hot Water Supply on the Basis of Renewed Energy Sources for Southern Federal District..... 62

<i>Ермаков В.Ф., Балькин Е.С., Еволенко Н.А., Коваленко А.Н., Костинский С.С., Ермакова Е.В., Зайцева И.В., Ксенз Н.В., Теребаев В.В.</i> Опытное определение постоянной времени нагрева электрооборудования .....	66
<i>Колпахчян П.Г., Лавронова Л.И.</i> Моделирование процессов в системе преобразователь – асинхронный двигатель при синхронизации напряжения инвертора с сетью .....	69
<i>Морозов А.В., Кругликов А.А., Кислица К.Ю., Хакиев З.Б., Явна В.А., Востров В.А.</i> Оценка сезонных изменений электрофизических свойств грунтов земляного полотна по данным георадиолокационных обследований .....	75
<i>Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Грекова А.Н.</i> Определение эквивалентного коэффициента теплопроводности многовитковой обмотки соленоида на основе решения обратной задачи теплообмена .....	81
<i>Васюков И.В.</i> Высоковольтный источник питания на основе инвертора напряжения .....	85
<i>Горбатенко Н.И., Гречихин В.В.</i> Адаптивно-селективная сборка электромагнитов с учетом магнитных свойств деталей .....	89

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Мукутадзе М.А.</i> Гидродинамический расчет радиального подшипника с адаптированным профилем опорной поверхности .....	95
<i>Колесников И.В., Харламов П.В.</i> Организация мониторинга динамических процессов, протекающих в мобильных трибосистемах .....	98
<i>Озерский А.И.</i> Основы моделирования гидромуфт, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации .....	105

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Соболев В.В.</i> Оптимизация параметров и исследование эффективности технологических процессов при планировке строительной площадки .....	114
<i>Юшкова Н.Г.</i> Теоретические основы разработки инновационных проектно-управленческих решений: градостроительный аспект .....	118

### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Беспалова Ж.И., Паненко И.Н., Большенко А.В., Бородай А.В.</i> Износостойкость и защитные свойства композиционных покрытий, полученных микродуговым окислением .....	123
---	-----

### ПРОБЛЕМЫ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

<i>Васильев А.М.</i> Усовершенствование систем энергоснабжения тепличных хозяйств с целью оптимизации ресурсозатрат .....	126
---	-----

### ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ РОМЫШЛЕННОСТИ

<i>Ларина Л.В.</i> Моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож .....	129
--	-----

### ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ

<i>Щербакоева Е.А.</i> Моделирование процессов, повышающих конкурентоспособность предприятия ..	133
---	-----

### ХРОНИКА

Иванов Владлен Васильевич (к 80-летию со дня рождения) .....	135
Щеглов Владимир Иванович (к 60-летию со дня рождения) .....	136
Волосухин Виктор Алексеевич (к 60-летию со дня рождения) .....	138

<i>Ermakov V.F., Balykin Y.S., Evolenko N.A., Kovalenko A.N., Kostinsky S.S., Ermakova E.V., Zaitseva I.V., Ksenz N.V., Terebaev V.V.</i> Expert Determination of Electric Heating Time Conctant .....	66
<i>Kolpakhchyan P.G., Lavronova L.I.</i> Modelling of Processes in System the Converter – the Asynchronous Engine in the Course of Synchronization of Pressure of the Inverter with the Network .....	69
<i>Morozov A.V., Kruglikov A.A., Kislitca K.Yu., Khakiev Z.B., Yavna V.A., Vostrov V.A.</i> Assessment of Seasonal Changes in Physical Properties of Soil Subgrade According to the GRP Surveys .....	75
<i>Bachvalov Y.A., Grechikhin V.V., Grekova A.N.</i> Definition of Equivalent Coefficient of Thermal Conductivity of a Multiturn Winding of the Solenoid on the Basis of the Solution of the Inverse Problem of Heat Exchange .....	81
<i>Vasyukov I.V.</i> The High-Voltage Power Supply on the Basis of the Voltage Mode Inverter .....	85
<i>Gorbatenko N.I., Grechikhin V.V.</i> Adaptive-Selective Assembly of Electromagnets Taking Into Account Magnetic Properties of Details .....	89

### MACHINE BUILDING

<i>Mukutadze M.A.</i> Hydrodynamic Calculation of Radial Bearing with the Adaptad Profile of its Surface Operating on Compressed Visco-Plastic Lubricant .....	95
<i>Kolesnikov I.V., Kharlamov P.V.</i> The Organization of Monitoring of Dynamic Processes Proceeding in Mobile Frictional Systems .....	98
<i>Ozerskiy A.I.</i> Bases of Modeling of Dynamics (Changes) Hydromuffe, Working in Heavy Conditions of Operation .....	105

### CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<i>Sobolev V.V.</i> Optimization of Parameters and Research of Efficiency of Technological Processes at a Lay-Out of a Building Site .....	114
<i>Yushkova N.G.</i> Theoretical Basis for Development of Innovative Project Management Solutions: City Planning Perspective .....	118

### CHEMICAL ENGINEERING

<i>Bespalova J.I., Panenko I.N., Bolshenko A.V., Boroday A.V.</i> Wear Protective Properties of Composite Coatings Obtained Microarc Oxidation .....	123
--	-----

### PROBLEMS OF AGRICULTURAL COMPLEX

<i>Vasiliev A.M.</i> Improvement of Systems of Power Supply of Hothouse Economy for the Purpose of Optimization of Resources Consumptions .....	126
---	-----

### LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

<i>Larina L.V.</i> Modeling of Leather Vacuum-Sorption Damping Process .....	129
--	-----

### ENTERPRISE ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>Shcherbakova E.A.</i> Modeling of the Processes to Increase the Competitiveness of a Company .....	133
---	-----

### CHRONICLES

Ivanov Vladlen Vasilievich (to the 80-th Anniversary) .....	135
Shcheglov Vladimir Ivanovich (to the 60-th Anniversary) .....	136
Volosuhin Viktor Alekseevich (to the 60-th Anniversary) .....	138

УДК 681.3.06:530.145.001.57

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

© 2012 г. В.Ф. Гузик, С.М. Гушанский, О.К. Евсеев

Южный федеральный университет  
(Таганрогский технологический институт)Southern Federal University  
(Taganrog Technological Institute)

*Сформулирована методика моделирования квантовых вычислений, основанная на физическом описании квантовых систем в терминах волновых функций. Представлено отображение квантового вычислителя на элементы модели. Приведены ограничения матричного метода моделирования и пути их решения.*

**Ключевые слова:** квантовые вычисления; моделирование; методика;  $q$ -бит; вектор состояния; тензорное произведение; оператор.

*The article stated technique for modeling of quantum computation based on the physical description of quantum systems in terms of wave functions. Presented by mapping the quantum computer to the elements of the model. The limitations of the matrix method of modeling and their solutions are given.*

**Keywords:** quantum computation; simulation; methodic;  $q$ -bit; state vector; tensor product; operator.

В настоящее время универсальные квантовые вычислители существуют лишь в теории, однако их физические прототипы, не обладающие достаточной мощностью, уже построены и активно совершенствуются. Разработанные физические устройства являются моделями с объёмом регистра не более 10 – 20 [1, 2] квантовых бит ( $q$ -бит) и ограниченной функциональностью. Такая разрядность означает их фактическую пригодность для задач, оперирующих числами, в беззнаковом целочисленном формате не превышающими 1048576. Вместе с тем стоимость разработки и эксплуатации физических моделей такова, что их могут позволить себе лишь некоторые научно-исследовательские институты, занимающиеся совершенствованием возможностей квантовых вычислительных устройств [1].

Параллельно с созданием квантовой вычислительной аппаратуры ведётся разработка вычислительных алгоритмов, позволяющих эффективно решать задачи, принципиально слишком сложные для классической вычислительной техники. Для этих целей строятся более доступные программные математические модели, которые, однако, имеют ограниченную производительность.

Квантовый вычислитель [3] (рис. 1) имеет больше общего с процессором, или даже с АЛУ процессора, чем с компьютером, поэтому термин «квантовый компьютер», является не вполне точным. Квантовый регистр хранит операнды, сама же операция задаётся внешней управляющей системой, реализующей вычислительные воздействия над операндами. Способ реализации вычислительных воздействий зависит от физической природы квантового регистра.

Работа программных моделей основывается на принятом в квантовой механике описании состояний частиц и систем с помощью волновых функций. Согласно принципу суперпозиции состояний [4], если

квантовая система потенциально может находиться в  $n$  базисных состояниях  $|x_{n-1}\rangle, |x_{n-2}\rangle, \dots, |x_0\rangle$  (в которых физическая величина при измерении принимает с достоверностью, соответственно, значения  $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_0$ ), то система может находиться и в смешанном состоянии  $|X_n\rangle$ , являющемся линейной суперпозицией состояний  $|x_i\rangle$  с комплексными коэффициентами  $\lambda_i$ :

$$|X_n\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} \lambda_i |x_i\rangle; \quad \sum_{i=0}^{2^n-1} |\lambda_i|^2 = 1; \quad \lambda_i \in C, \quad (1)$$

где  $|\lambda_i|^2$  равен вероятности обнаружения системы в чистом состоянии  $|x_i\rangle$ . Согласно вероятностной трактовке принципа суперпозиции состояний [4],

$$\sum_{i=0}^{2^n-1} |\lambda_i|^2 = \langle X_n | X_n \rangle = 1, \quad (2)$$

т.е. вектор  $|X_n\rangle$  нормирован на единицу.



Рис. 1. Структурная схема квантового вычислителя

На основе квантовой системы с 2 чистыми состояниями может быть организован квантовый аналог

классического бита –  $q$ -бит. Волновая функция такой частицы, исходя из формулы (1), записывается в виде двухкомпонентного вектора [5]:

$$|X_1\rangle = \lambda_1|x_1\rangle + \lambda_0|x_0\rangle = \begin{pmatrix} \lambda_0|x_0\rangle \\ \lambda_1|x_1\rangle \end{pmatrix}, \quad \lambda_1, \lambda_0 \in C. \quad (3)$$

Нахождение системы в состоянии  $|x_0\rangle$  в таком случае принимается за логический ноль, а в состоянии  $|x_1\rangle$  за логическую единицу, поэтому в теории квантовых вычислений принято обозначать их как  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  соответственно [5].

Моделирование объединения  $q$ -бит в регистр осуществляется путём тензорного перемножения их векторов состояния:

$$\begin{aligned} |X_2\rangle = |x_1\rangle \otimes |x_0\rangle &= \begin{pmatrix} \lambda_0^1|0\rangle \\ \lambda_1^1|1\rangle \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \lambda_0^0|0\rangle \\ \lambda_1^0|1\rangle \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \lambda_0^1\lambda_0^0|00\rangle \\ \lambda_0^1\lambda_1^0|01\rangle \\ \lambda_1^1\lambda_0^0|10\rangle \\ \lambda_1^1\lambda_1^0|11\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_0|00\rangle \\ \lambda_1|01\rangle \\ \lambda_2|10\rangle \\ \lambda_3|11\rangle \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что  $|\lambda_i|^2$  характеризует вероятность содержания квантовым регистром прямого двоичного кода числа  $i$ , что существенно при построении модели.

Квантовый регистр, как и регистр классический, является элементом памяти, однако, при определённых  $\lambda_i$ , все его состояния могут быть равновероятны, т.е., с равной вероятностью представлять все возможные числа данной разрядности. Эта особенность ведёт к квантовому параллелизму вычислений, а именно к возможности одновременного решения задачи на всём наборе входных значений.

Согласно 1 постулату квантовой механики, задание вектора состояния в какой-либо момент времени  $t_0$ ,  $|X(t_0)\rangle$  позволяет найти вектор состояния  $|X(t)\rangle$  в любой последующий момент времени  $t$ , т.е. имеется соответствие

$$|X(t_0)\rangle \rightarrow |X(t)\rangle, \quad (5)$$

следовательно, существует оператор эволюции состояния  $U(t_0, t)$ , такой, что

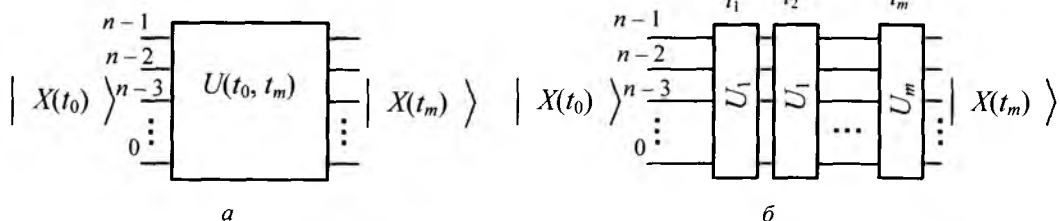


Рис. 2. Операторное представление алгоритма вычисления: а – оператор алгоритма; б – операторы шагов алгоритма

$$|X(t)\rangle = U(t_0, t)|X(t_0)\rangle. \quad (6)$$

Сохранение нормы вектора состояния (сохранение полной вероятности) требует, чтобы  $U$  был унитарным оператором, что выражается как

$$U^\dagger U = U U^\dagger = I, \quad (7)$$

оператор  $U^\dagger$  эрмитово сопряжён  $U$ ,  $I$  – оператор тождественного преобразования. Унитарные операторы выражают недиссипативные преобразования и являются обратимыми. Поэтому только унитарные операторы могут быть применены к системе без нарушения суперпозиции состояний, т.е. управляющая система квантового вычислителя может использовать только унитарные операторы для прогнозируемого текущего вычисления.

В результате диссипативного вмешательства волновая функция переходит в одно из базисных состояний. Этот факт не позволяет реализовать ветвление, столь обычное для классических вычислений.

Унитарные операции над  $q$ -битами называются квантовыми вентилями, по аналогии с логическими вентилями, реализуемыми в АЛУ. Так, например, если в результате некоторого воздействия  $q$ -бит переходит из состояния  $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ ,  $|1\rangle \rightarrow |0\rangle$ , то говорят, что в течение времени  $t$  с момента  $t_0$  на  $q$ -бит было оказано единичное воздействие

$$\begin{aligned} U(t_0, t) &= |0\rangle\langle 1| + |1\rangle\langle 0| = \\ &= \begin{pmatrix} 1 & \\ & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \\ & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

Допустимы только такие переходы, чьи операторы подчиняются требованию унитарности, т.е. сохраняют норму вектора состояния.

Очевидно, что для вектора размерностью  $2^n$  матрицы операторов должны иметь размерность  $2^n \times 2^n$ . Это означает, что каждый оператор формулы (8) должен описывать воздействие на все  $q$ -биты системы (рис. 2). Операторы, соразмерные системе, могут строиться из операторов, воздействующих как на отдельные  $q$ -биты системы, так и на группы  $q$ -битов системы. Результирующий оператор собирается из операторов, воздействующих на части системы с помощью тензорного перемножения в том же порядке, в котором вектора состояний частей системы входят в вектор состояния системы.

Тензорное произведение унитарных операторов даёт унитарный оператор, действующий в тензорном произведении пространств его сомножителей [6]

$$U_1 \otimes U_0 |\psi_1\rangle \otimes |\psi_0\rangle = U_1 |\psi_1\rangle \otimes U_0 |\psi_0\rangle. \quad (9)$$

Формула (9) служит для конструирования унитарных операторов, используемых для моделирования вычислительных воздействий на квантовый регистр. Она означает, что для квантового регистра с вектором состояния  $|\psi_1\rangle \otimes |\psi_0\rangle$  применение оператора  $U_1 \otimes U_0$  будет тождественно применению  $U_1$  к  $|\psi_1\rangle$  и  $U_0$  к  $|\psi_0\rangle$ . Таким образом, тензорное произведение некоторого оператора  $U$ , действующего на подмножестве  $A$   $q$ -битов квантового регистра, и оператора тождественного преобразования  $I$ , действующего на каждый  $q$ -бит регистра,  $\notin A$ , будет эквивалентно применению  $U$  к  $A$  и сохранению состояния  $q$ -битов,  $\notin A$ .

В ходе вычисления инициализированный исходными данными регистр (в модели – вектор состояния) подвергается серии недиссипативных воздействий (в модели – умножению на унитарные операторы). Алгоритмом вычисления задаётся характер и последовательность операторов. После завершения вычислительных воздействий производится диссипативное измерение состояния системы: состояние системы регистрируется внешней аппаратурой, в результате чего волновая функция переходит в наиболее близкое базисное состояние, и выходные данные становятся доступны для анализа. В модели этому соответствует выбор состояния с наибольшим квадратом амплитуды.

Вероятность значений каждого  $q$ -бита регистра  $|X_n\rangle = |x_{n-1}x_{n-2}\dots x_k\dots x_0\rangle$  с амплитудами  $\lambda_i = \lambda_{n-1}^j \times \lambda_{n-2}^j \dots \lambda_0^j$ ,  $j = 0, 1$  можно вычислить по формуле

$$P(|x_k\rangle = |0\rangle) = \sqrt{\sum_{i=0}^{2^n-1} |\lambda_{i,\lambda_k^0}(\lambda_k^0)|^2},$$

$$P(|x_k\rangle = |1\rangle) = \sqrt{\sum_{i=0}^{2^n-1} |\lambda_i(\lambda_k^1)|^2}, \quad (10)$$

выводимой из формулы полной вероятности.

Таким образом, процесс моделирования квантового вычисления отражает схему квантового вычислителя и состоит в построении векторов волновых функций  $q$ -бит, сборке из них вектора волновой функции регистра, её преобразовании с помощью эрмитовых операторов, задающих вычисление, и измерения конечного результата.

Обобщение формул (1) – (11) даёт возможность построения следующей методики моделирования квантовых вычислений:

1. Кодирование алгоритма квантового вычисления:

а) алгоритм вычисления представляется с помощью унитарных операторов, чьё воздействие разделяется пространственно (по  $q$ -битам, или большим частям системы) и во времени (по шагам выполнения);

б) для каждого шага алгоритма формируется единый соразмерный квантовому регистру унитарный оператор.

2. Подготовка начальных условий, построение модели квантового регистра:

а) для каждого  $q$ -бита формируются вектора состояния, определяющие их волновые функции в начальный момент времени;

б) вектора состояния  $q$ -битов упорядочиваются для формирования квантового регистра от старших бит к младшим;

в) производится построение вектора состояния квантового регистра посредством тензорного перемножения упорядоченных векторов состояния  $q$ -бит.

3. Моделирование шагов алгоритма:

а) последовательное применение унитарных операторов (соразмерных квантовому регистру), задающих алгоритм вычисления;

б) фиксация терминального значения вектора состояния квантового регистра.

4. Моделирование измерения:

а) поиск наиболее вероятного состояния квантового регистра. Индекс компоненты вектора, соответствующей наиболее вероятному состоянию (примечание к формуле (4) и будет представлять результат вычисления;

б) или расчёт вероятностей для состояний каждого  $q$ -бита регистра (формула (11)).

Данная методика моделирования напрямую вытекает из положений квантовой физики и позволяет получать достоверный результат, идентичный результатам работы физических моделей на тех же алгоритмах. Это единственный способ согласного с физическими представлениями моделирования квантовых вычислений. Технически он сводится к матричным вычислениям на основании формулы (6). При больших объёмах моделируемой квантовой системы (более 12  $q$ -бит) [7], вследствие экспоненциального роста количества характеризующих её параметров, когда объём необходимой памяти начинает измеряться гигабайтами, математические модели с прямой реализацией матричных вычислений становятся неэффективными.

Полностью решить проблему экспоненциального роста вычислительных затрат не представляется возможным, однако можно многократно сократить объём данных за счёт сжатия матричного представления до уникальных элементов и карты их расположения [8, 9], подобно тому как производится архивирование файлов. Кроме сжатия представления матриц, желательно ввести операции, позволяющие реализовать тензорное и матричное умножение, минимизировав или вовсе исключив затраты на распаковку и упаковку

представлений. Такой способ позволяет сократить затраты памяти при незначительном росте времени вычисления.

#### Литература

1. *Netanel H.L., Terry R.* A photonic cluster state machine gun // Cornell University Library URL: <http://arxiv.org/abs/0810.2587>
2. D-Wave // The quantum computer company URL: <http://www.dwavesys.com/> (дата обращения 28.03.2011).
3. *Валиев К.А., Кокин А.А.* Квантовые компьютеры: надёжность и реальность. Ижевск, 2001. 352 с.
4. Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. М., 1983. С. 608.
5. *Валиев К.А.* Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи физических наук. М., 2001. Т. 175. № 1. С. 1 – 39.
6. *Китаев А., Шень А., Вьяльи М.* Классические и квантовые вычисления. М., 1999. 192 с.
7. *Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Евсеев О.К.* Реализация модели квантового вычислителя // Материалы X науч.-практ. семинара, г. Донецк 4 – 7 мая 2009 г. Донецк, 2009. Т. 1. С. 224 – 234.
8. *Viamontes G.F., Markov I.L., Hayes J.P.* Graph-based simulation of quantum computation in the density matrix representation // Quantum Information Processing, Springer Netherlands. 2003.
9. *Bahar R.I., Frohm E.A., Gaona C.M.* Algebraic decision diagrams and their applications. // ICCAD '93, Santa Clara, CA, USA. November 07-11, 1993 IEEE Computer Society Press – Los Alamitos, CA, USA, 1993. P. 188 – 191.

Поступила в редакцию

6 июня 2011 г.

**Гузик Вячеслав Филиппович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника», Южный федеральный университет (Таганрогский технологический институт). Тел. (8634) 37-16-56. E-mail: [gvf@tsure.ru](mailto:gvf@tsure.ru)

**Гушанский Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Вычислительная техника», Южный федеральный университет (Таганрогский технологический институт). Тел. (8634) 37-16-56. E-mail: [kkron@pbox.ttn.ru](mailto:kkron@pbox.ttn.ru)

**Евсеев Олег Константинович** – аспирант кафедра «Вычислительная техника», Южный федеральный университет (Таганрогский технологический институт). Тел. (8928) 172-14-87. E-mail: [Aleg.a33@rambler.ru](mailto:Aleg.a33@rambler.ru)

**Guzik Vyacheslav Filippovich** – Doctor of Technical Sciences, professor, head of department «Computer Engineering», Southern Federal University (Taganrog Technological Institute). Ph. (8634) 37-16-56. E-mail: [gvf@tsure.ru](mailto:gvf@tsure.ru)

**Gushansky Sergei Mikhailovich** – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, department «Computer Engineering», Southern Federal University (Taganrog Technological Institute). Ph. (8634) 37-16-56. E-mail: [kkron@pbox.ttn.ru](mailto:kkron@pbox.ttn.ru)

**Evsееv Oleg Konstantinovich** – post-graduate student, department «Computer Engineering», Southern Federal University (Taganrog Technological Institute). Ph. (8928) 172-14-87. E-mail: [Aleg.a33@rambler.ru](mailto:Aleg.a33@rambler.ru)