doi: 10.14498/tech.2023.2.1

Информационные технологии и коммуникации

УДК 530.145.82:658.3:621.391.24

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ФАКТОРИНГОВЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

Р.О. Боряев, А.В. Чуваков*

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: r.boryaev@gmail.com, avch2105@gmail.com

Аннотация. *Описываются существующие подходы по автоматизации в системах управления факторинговыми операциями. Анализируется актуальность данной проблемы через оценку объема и динамики роста рынка факторинговых операций в РФ. Рассматриваются имеющиеся проблемы с производительностью, которые присущи программным комплексам, построенным на основе классических алгоритмов, а также предлагается их оптимизация путем использования алгоритмов на основе квантовых вычислений. Акцентируется внимание на проблеме параллельных вычислений как основного свойства, позволяющего добиться существенного увеличения вычислительной способности. Приводится возможный путь решения на основе совместного использования квантового и классического подходов в рамках одного программного комплекса. Описывается применение квантового метода Монте-Карло в целях улучшения автоматизированной информационной системы предприятия. Полученный результат позволяет сделать вывод о перспективности использования данной методики для построения комбинированных квантовых и классических алгоритмов в системах управления факторинговыми операциями.*

Ключевые слова: *автоматизированные информационные системы, факторинг, квантовые вычисления, параллельные вычисления, кубит, суперпозиция, квантовый метод Монте-Карло.*

Введение

Особыми видами специализированной управленческой деятельности, выделившимися в процессе разделения управленческого труда, являются функции управления [1]. Наиболее простым и доступным для понимания является деление функций управления на две группы: общие и специальные, т. е. функции по управлению теми или иными объектами организации, в том числе финансами. Важную роль в функции по управлению объектом «финансы» играют современные инструменты по управлению дебиторской задолженностью, в первую очередь факторинг. В наиболее простом понимании факторинг – это

* *Родион Олегович Боряев, аспирант кафедры «Вычислительная техника».*
Александр Владимирович Чуваков, кандидат химических наук, заведующий кафедрой «Вычислительная техника».

продажа дебиторской задолженности, а точнее передача агентских функций по ее управлению третьей стороне.

В данной статье ставится задача по определению значимости факторинга в автоматизированной информационной системе (АИС) управления предприятием и возможных путей по повышению эффективности использования данного процесса с помощью применения современных методов оптимизации алгоритмов с использованием квантовых вычислений.

Значимость факторинга в АИС управления предприятием

Факторинг с позиции клиента освобождает предприятия от исполнения функции по управлению портфелем товарных кредитов. Для определения значимости факторинговой деятельности предлагается оценить объемы и динамику факторингового рынка за последние три года для того, чтобы понять, насколько актуален данный вид финансовой деятельности в текущих реалиях российской экономики [2–4].

Для проведения оценки объемов указанного рынка услуг воспользуемся данными, предоставляемыми Ассоциацией факторинговых услуг – негосударственной некоммерческой организацией, объединяющей юридических лиц, осуществляющих факторинговые операции в России, а также организации, деятельность которых связана с предоставлением факторинговых услуг. Членами данной организации являются крупнейшие представители рынка кредитования России, такие как ООО «СберФакторинг», ООО «ВТБ факторинг», АО «Альфа-Банк», ПАО «Банк "ФК Открытие"», ООО «РСХБ факторинг».

Совокупный портфель российского рынка факторинга вырос за этот период с 0,8 до 1,5 трлн руб., а объем выплаченного финансирования – с 3,1 до 5,8 трлн руб. (рис. 1).

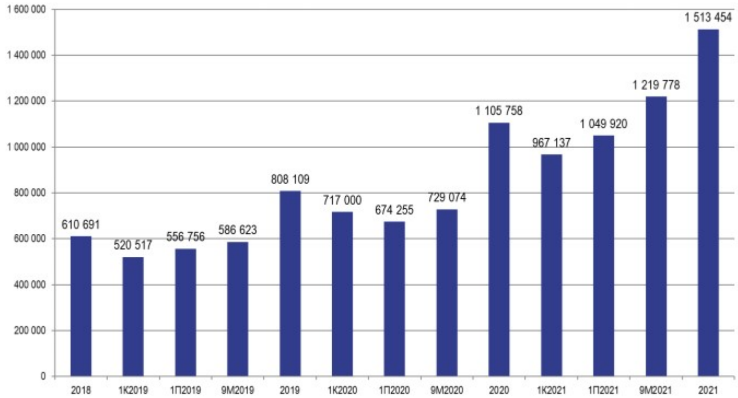

Рис. 1. Поквартальная динамика портфеля, млн рублей

Можно сделать вывод о положительной динамике роста спроса на факторинговые услуги в российской экономике.

АИС управления факторинговыми операциями

С учетом объема рынка факторинговых операций невозможно представить себе использование данного финансового продукта без частичной или полной автоматизации операций, необходимых для его применения. При этом различными программными комплексами может быть реализована как автоматизация по части учета данных, так и автоматизация алгоритмов принятия факторинговых решений. Рассмотрим программные комплексы, применяемые на данный момент для решения указанных задач.

«Контур. Факторинг»

Программный продукт «Контур. Факторинг» предназначена для обмена электронными документами в рамках факторинговых операций. Пользователь выполняет все действия на сервере оператора программы, ему не требуется самому отслеживать и устанавливать какие-либо обновления программы на свой ПК. Все изменения выполняются автоматически на сервере. Данный программный продукт решает только задачи по учету данных, без возможности автоматизации принятия факторинговых решений.

«БАНК 21 ВЕК»

Данный программный комплекс состоит из двух модулей. Подсистема «Факторинг» предназначена для организации учета факторинговых операций и позволяет осуществить комплексную автоматизацию факторинговой деятельности в банке или факторинговой компании. Подсистема «Факторинг – клиентский офис» предназначена для клиентов факторинговой компании и позволяет поставщикам в режиме онлайн получать оперативную информацию по своим договорам факторингового обслуживания. Возможности автоматизации принятия факторинговых решений частично реализованы.

«САМ»

Программный комплекс «САМ» от компании Professor Schumann Gmbh включает в свой состав модуль для проведения факторинговых операций. Предоставляет широкие возможности по подключению внешних поставщиков информации, необходимой для принятия управленческих решений. Данный продукт позволяет как вести учет всех необходимых данных для проведения факторинговых операций в отношении продавцов и покупателей, так и гибко формировать алгоритмы принятия решения в отношении лимитов, выдаваемых клиентам факторинговых компаний. Алгоритмы могут формироваться самим предприятием путем написания новых либо модификации существующих bpmn процессов.

Edisoft Factoring

Факторинговая площадка Edisoft Factoring соединяет дебитора, кредитора и факторинговую компанию, позволяя проводить сделки по уступке дебиторской задолженности в электронном виде. Edisoft Factoring берет на себя операции по формированию заявок и автоматической проверке данных, позволяя быстро проводить сделки и получать деньги. Возможности автоматизации принятия факторинговых решений частично реализованы.

PaaS системы

Многие крупные компании, предоставляющие факторинговые услуги, такие как «СберФакторинг», имеют системы учета данных и принятия факторинговых решений собственной разработки, не предоставляемые как отдельно продаваемый продукт. Данные программные комплексы используются для предоставления услуг в виде Product as a Service (продукт как сервис) и решают задачи как учета данных, так автоматизации принятия факторинговых решений, так как факторинговой компанией является сам держатель данного продукта.

Рассмотренные системы обеспечивают разную степень автоматизации управления процессом факторинга и принятия факторинговых решений. В то же время все указанные системы предназначены для учета и обработки больших объемов данных, необходимых для обеспечения поддержки принятия факторинговых решений с использованием алгоритмов на основе классических вычислений.

Проблемы при оценке рисков и принятии автоматизированных решений в факторинговых операциях

Возрастающий объем рынка факторинга требует принятия все более сложных управленческих решений. А высокая степень автоматизации принятия решений в сфере факторинговых операций освобождает предприятия от исполнения функции по контролю за портфелем товарных кредитов. В то же время из-за увеличения объемов рынка и привлекательности факторинга как финансового инструмента, эффективно решающего указанные нами выше задачи предприятия, нагрузка на факторинговые программные продукты неуклонно возрастает.

Для принятия эффективного решения в отношении изменения или подтверждения кредитных лимитов контрагентов автоматизированной информационной системе необходимо получение входной информации от рейтинговых агентств, обладающих сведениями о текущем состоянии компаний и физических лиц, участвующих в проведении сделок с применением факторинговых финансовых инструментов. С учетом высокой автоматизации при наличии хотя бы 100 сделок в день на 15000 тысяч контрагентов с проверкой от 20 до 40 входящих параметров от рейтинговых агентств на каждую сделку у нас отсутствует возможность построения для каждой факторинговой операции эффективной вероятностной модели указанных входных параметров с использованием классических алгоритмов. А значит, в существующих системах автоматизации факторинговых операций при любом отклонении входных параметров от средних значений необходимо ручное вмешательство кредитных специалистов.

В последние годы очень интенсивно развиваются квантовые вычисления – это подход, использующий понятия квантовой физики [5]. Рассмотрим возможность использования квантовых вычислений в управляющих алгоритмах с целью восполнения указанного пробела в существующих АИС по управлению факторинговыми операциями.

Квантовые вычисления

Основные операции для преобразования и обработки информации, которые используются в классических алгоритмах, – это однобитное преобразование НЕ (NOT) и двухбитные преобразования И (AND) и ИЛИ (OR). Данные операции описываются при помощи таблиц истинности, т. е. приводится соответствие выходных значений входным. Готовый алгоритм, основанный на классических вычислениях, – это набор последовательных битовых операций. В квантовых вычислениях, как и в классических, используются логические преобразования – вентили.

Наиболее важными квантовыми вентилями с одним кубитом являются операторы Паули *X*, *Y*, *Z*, ворота Адамара *H*, ворота фазового сдвига (иногда обозначаемые *P*). Операторы Паули могут быть представлены в форме матрицы в следующем виде:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \tag{1}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \tag{2}$$

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}; \tag{3}$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Ворота Адамара – это операция с одним кубитом, преобразующая базисное состояние $|0\rangle$ в $\frac{|0\rangle + |1\rangle}{2}$ и $|1\rangle$ в $\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Также нам необходим двухкубитный гейт CNOT – управляемый вентиль НЕ (6). Действие вентиля CNOT может быть представлено в следующем виде:

$$|c,t\rangle \to |c,t \oplus c\rangle. \tag{6}$$

Следовательно, если контрольный кубит установлен в единицу, то целевой кубит меняется на ноль. Матричное представления вентиля CNOT выглядит так:

$$CNOT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix}. \tag{7}$$

В дополнение к обычному управляемому вентилю НЕ можно построить вентиль НЕ, управляемый функцией, который принимает на вход произвольное число n+1 кубитов, где n+1 больше или равно 2 (квантовый регистр). Этот вентиль переворачивает последний кубит регистра тогда и только тогда, когда встроенная функция с первыми n кубитами в качестве входных данных возвращает 1.

Используя указанные гейты, мы можем сформировать блоки квантовых схем подобно тому, как делаем это с системами классических гейтов И, ИЛИ и НЕ [6].

Измерения показывают, что выполнение одного квантового гейта занимает около 1 наносекунды, что больше, чем для классического гейта [7]. Так что алгоритмы для квантового вычислителя должны не копировать классические, а по максимуму использовать уникальные свойства квантовой механики, такие как квантовый параллелизм.

Квантовый параллелизм

Фундаментальным свойством квантовых вычислений является квантовый параллелизм, который позволяет получить значения функции f(x) для всех возможных x одновременно [8].

Квантовое вычисление C, реализованное на квантовом регистре, преобразует входную строку $i_1 \ldots i_N$ в выходную строку $O_1(i),\ldots,O_N(i)$:

$$\begin{pmatrix} O_1(i) \\ \vdots \\ O_N(i) \end{pmatrix} = U(C) \begin{pmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_N \end{pmatrix}; (i)_{10} = (i_1 \cdots i_N)_2 . \qquad (8)$$

Состояния базиса вычислений (CB) обозначаются как

$$\left| i_1 \cdots i_N \right\rangle = \left| i_1 \right\rangle \otimes \cdots \otimes \left| i_N \right\rangle ; i_1, \cdots, i_N \in \{0,1\} . \qquad (9)$$

Линейная суперпозиция позволяет нам сформировать следующее 2N-кубитное состояние:

$$\left| \psi_{in} \right\rangle = \left[\frac{1}{\sqrt{2^N}} \sum_i \left| i_1 \cdots i_N \right\rangle \right] \otimes \left| 0 \cdots 0 \right\rangle . \qquad (10)$$

После применения квантовой операции U(C) выход можно представить в виде

$$\left| \psi_{out} \right\rangle = U(C) \left| \psi_{in} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^N}} \sum_i \left| i_1 \cdots i_N \right\rangle \otimes \left| O_1(i) \cdots O_N(i) \right\rangle . \qquad (11)$$

Квантовый компьютер смог закодировать все входные строки, сгенерированные C, в $|\psi_{out}$; другими словами, он одновременно прошел 2N классических путей. Эта способность квантового компьютера кодировать множество результатов вычислений в квантовое состояние за один квантовый вычислительный шаг известна как квантовый параллелизм.

Квантовая схема для одновременной оценки f(0) и f(1) функции f(x): {0,1} → {0,1} показана на рис. 2. Ее выходное состояние содержит информацию как о f(0), так и о f(1).

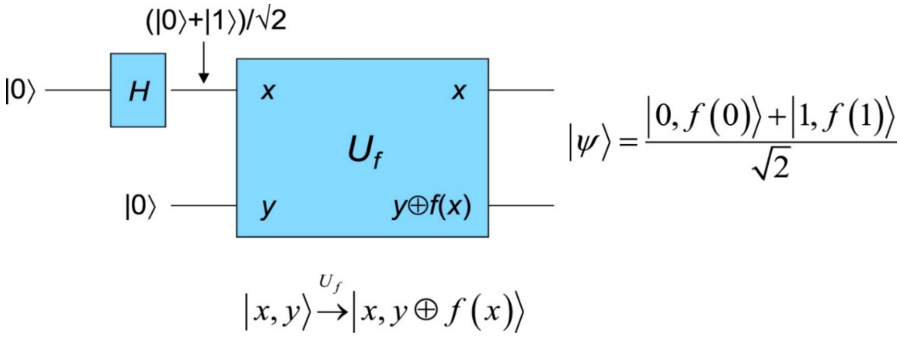

Рис. 2. Квантовая схема для одновременного вычисления $f(0)$ и $f(1)$

Выход схемы, показанной на рис. 1, теперь может быть получен как

$$|\psi\rangle = U_f |H0 \otimes 0\rangle = U_f \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|00\rangle + |10\rangle\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0, f(0)\rangle + |1, f(1)\rangle\right), \qquad (12)$$

что доказывает, что схема с рис. 1 действительно может одновременно вычислять $f(0)$ и $f(1)$.

Теперь мы хотели бы обобщить вычисление $f(x)$ на $n+m$ кубитах, как показано на рис. 3.

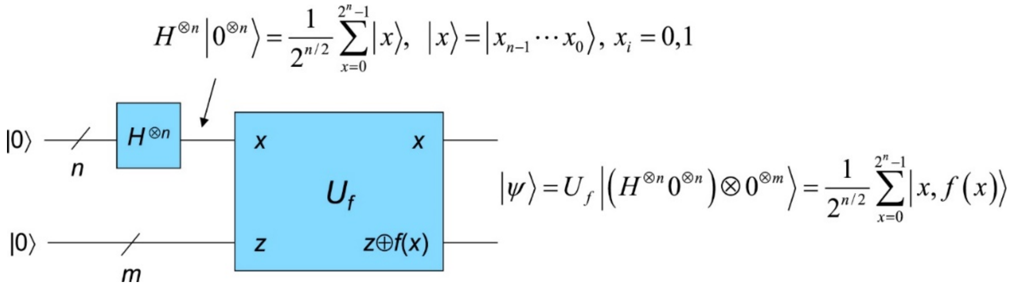

Рис. 3. Квантовая схема для оценки $f(x)$ на $n+m$ кубитах

Хотя в

$$|\psi\rangle = \left(|0, f(0)\rangle + |1, f(1)\rangle\right)/\sqrt{2} \qquad (13)$$

содержится информация как о $f(0)$, так и о $f(1)$, квантовые вычисления не имеют никаких преимуществ перед классическими, если требуется вычисление всех значений функции $f(x)$. Это означает, что отсутствует возможность напрямую использовать квантовые аналоги классических алгоритмов, применяя при этом квантовый параллелизм как преимущество. С другой стороны, квантовые вычисления позволяют нам оценить некоторое глобальное свойство, скажем,

$f(0) \oplus f(1)$, выполнив только одну оценку $f(x)$ [9]. Этот пример позволит нам описать концепцию применения квантовых вычислений и показать перспективу их применения для оптимизации алгоритмов автоматизированных информационных систем управлением факторинговыми операциями. Квантовая схема, реализующая алгоритм Дойча, показана на рис. 4.

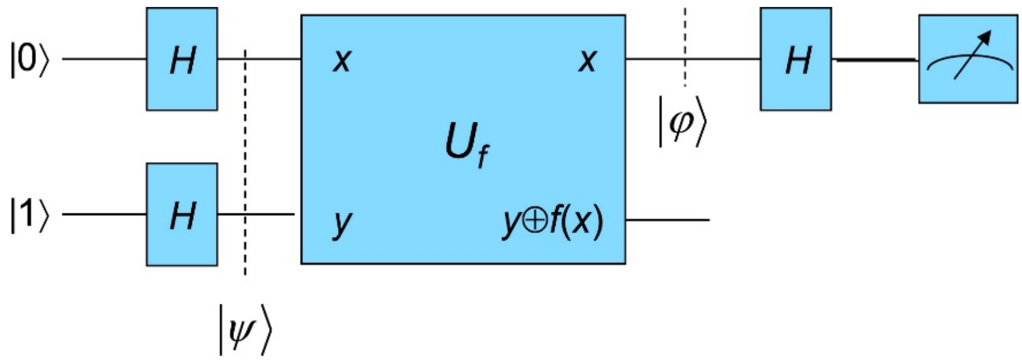

Рис. 4. Квантовая схема, реализующая алгоритм Дойча

Состояние $|\psi\rangle$ после стадии адамаровых ворот задается следующим образом:

$$|\psi\rangle = H|0\rangle \otimes H|1\rangle = \frac{1}{2}(|0\rangle + |1\rangle)(|0\rangle - |1\rangle) = \frac{1}{2}\left(\sum_{x=0}^{1}|x\rangle\right)(|0\rangle - |1\rangle). \quad (14)$$

Применение оператора $U\ \ f$ к $|\psi\rangle$ выполняет следующее отображение:

при $f(x) = 0 \Rightarrow (|0\rangle - |1\rangle) \to (|0\rangle - |1\rangle)$,

при $f(x) = 1 \Rightarrow (|0\rangle - |1\rangle) \to (|1\rangle - |0\rangle) = -(|0\rangle - |1\rangle)$.

Комбинируя эти два варианта, то же самое отображение можно представить в виде

$$(|0\rangle - |1\rangle) \to (-1) f(x)(|0\rangle - |1\rangle). \quad (15)$$

Так что действие $U\ \ f$ на $|\psi\rangle$ будет выглядеть следующим образом:

$$U_f|\psi\rangle = U_f H|0\rangle \otimes H|1\rangle = \frac{1}{2}\left(\sum_{x=0}^{1}(-1)^{f(x)}|x\rangle\right)(|0\rangle - |1\rangle). \quad (16)$$

Оператор, выполняющий отображение

$$|x\rangle \xrightarrow{U_f} (-1)^{f(x)}|x\rangle, \quad (17)$$

известен как оператор оракула. Верхний и нижний регистры в правой части схемы, показанной на рис. 3, распутываются после выполнения оператора оракула. Выходное состояние в верхней ветви (см. рис. 3) задано:

$$|\varphi\rangle = \left[(-1)^{f(0)}|0\rangle + (-1)^{f(1)}|1\rangle\right] / \sqrt{2}\ ; \tag{18}$$

и, применяя ворота Адамара, мы получаем:

$$H|\varphi\rangle = \frac{1}{2}\left[(-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)}\right]|0\rangle + \frac{1}{2}\left[(-1)^{f(0)} - (-1)^{f(1)}\right]|1\rangle . \tag{19}$$

Выполнив измерение, можем получить два возможных состояния:

– вариант 1: кубит $|0\rangle$ является конечным состоянием после измерения, что означает, что $f(0) = f(1)$; другими словами, функция $f(x)$ постоянна;

– вариант 2: получен кубит $|1\rangle$, что означает, что $f(0) \neq f(1)$, то есть функция $f(x)$ сбалансирована (выходы противоположны для половины входов).

Таким образом, в данном примере мы использовали концепцию квантового параллелизма, чтобы обойти явное вычисление $f(x)$ [10], при этом был проведен лишь один шаг вычисления, в отличие от минимум двух вычислений при использовании классического решения рассмотренной задачи.

Алгоритм Монте-Карло

Теперь применим данный принцип к подходящему элементу расчета в автоматизированной системе факторинговых операций. Важным элементом поддержки принятия факторинговых решений является управление кредитными рисками, основанное на применении инструментов анализа данных. Для решения данной задачи с учетом высокой информационной закрытости финансовых компаний, что является особенностью не только российского, но и зарубежного рынка, применяется имитационное моделирование по методу Монте-Карло [14].

Метод Монте-Карло используется для моделирования вероятности различных результатов в процессе, который трудно предсказать из-за вмешательства случайных величин. Это метод, используемый для понимания влияния риска и неопределенности. При возникновении значительной неопределенности при составлении прогноза или оценки некоторые методы заменяют неопределенную переменную одним средним числом. Вместо этого моделирование Монте-Карло использует несколько значений, а затем усредняет результаты. Моделирование методом Монте-Карло берет переменную, имеющую неопределенность, и присваивает ей случайное значение. Затем модель запускается и выдается результат. Этот процесс повторяется снова и снова, присваивая много разных значений рассматриваемой переменной. После завершения моделирования результаты усредняются, чтобы получить оценку.

Как сказано выше, основной целью методов Монте-Карло является оценка ожидаемого значения μ рандомизированного алгоритма A. Основным недостатком метода является то, что оценка μ до аддитивной ошибки ε с вероятностью успеха 99 % требует $n = O(\sigma 2 / \varepsilon 2)$) повторений независимо от размерности пространства выборки. Это означает, что если мы хотим сохранить вероятность успеха на уровне 99 % и уменьшить аддитивную ошибку ε в 10 раз, то нам нужно увеличить количество итераций в 102 раза. Представьте, что мы хотим оценить μ до четырех цифр. Нам потребуется выполнить A более 100 миллионов раз. Здесь на помощь приходят квантовые вычисления. Число использований A может быть уменьшено почти в четыре раза по сравнению с классическим значением. Результат будет основан на оценке амплитуды. Идея заключается в том, что у нас есть случайная переменная X, принимающая значения в подмножестве χ из R_d для некоторого измерения d. Случайная величина X имеет плотность вероятности f и обычно существует функция Ф: $\chi \to R+$. Методы Монте-Карло стремятся аппроксимировать

$$\mu = \mathrm{E}\left[\Phi(X)\right] = \int_{\chi} \Phi(x) f(x) dx . \tag{20}$$

Для этого производится соответствующее количество N независимых и одинаково распределенных выборок, каждая из которых соответствует независимому выполнению A. Затем среднее выборочное значение $\overline{\mu}$ используется в качестве аппроксимации μ.

Для проверки нашей гипотезы используем алгоритм с использованием случайной выборки с ограниченной вариативностью. В этом случае ускорение алгоритма может быть достигнуто при комбинировании классического неравенства Чебышева и квантового ускорения алгоритма 25. Наличие границы вариативности $v(A)$ означает, что

$$V_{ar}\left(v(A)\right) = E\left[\left(v(A) - E\left[v(A)\right]\right)^2\right] \le \sigma^2 . \tag{21}$$

Чтобы получить желаемый результат, нам также потребуется масштабировать и сдвигать интересующие нас случайные переменные, представляющие интерес. Начнем со случайной величины X, распределенной согласно некоторому распределению со значением μx и стандартным отклонением σx. Всякий раз, когда мы масштабируем случайную величину на коэффициент λ, мы получаем случайную величину $Z = \lambda X$ с новым распределением со средним $\mu_z = \lambda \mu_x$ и стандартным отклонением $\sigma_z = \lambda \sigma_x$. Если сдвинуть случайную величину на скаляр k, то получим случайную величину $Z = X + k$ с новым распределением со средним $\mu_z = \mu_x + k$ и стандартным отклонением $\sigma_z = \sigma_x$.

Первым шагом нашего алгоритма является выполнение алгоритма $A' = A / \sigma$, полученного путем масштабирования A с $\lambda = 1/\sigma$. Таким образом, $v(A')$ будет случайной величиной со средним значением и стандартным отклонением, ограниченным $\mu' \le \mu / \sigma$ и $\sigma' \le 1$ соответственно.

Наличие стандартного отклонения порядка единицы означает, что выход $\tilde{m}$ от выполнения алгоритма A' с высокой вероятностью довольно близок к фактическому среднему значению μ. Это объясняется неравенством Чебышева.

Поэтому мы можем с высокой степенью уверенности предположить, что $|\tilde{m}-\mu'|\le 3$. Второй шаг – рассмотреть алгоритм B, который получается путем выполнения A' и сдвига вычитанием $\tilde{m}$. Случайная величина $v(B)$ имеет ограничение на норму ℓ_2.

Действительно:

$$\|v(B)\|_2 = E\left[v(B)^2\right]^{1/2} =$$

$$= E\left[\left(\left(v(A')-\mu'\right)+\left(\mu'-\tilde{m}\right)\right)^2\right]^{1/2} \le E\left[\left(v(A')-\mu'\right)^2\right]^{1/2} + E\left[\left(\mu'-\tilde{m}\right)^2\right]^{1/2} =$$

$$= \sigma' + E\left[\left(\mu'-\tilde{m}\right)^2\right]^{1/2} \le 4. \qquad (22)$$

Эта граница также может быть определена как $\|v(B)/4\|_2 \le 1$.

Таким образом, получим алгоритм Монте-Карло с ограниченной дисперсией, в котором $V_{ar}(v(A)) \le \sigma^2$ для некоторых известных σ с точностью ε, которая $\varepsilon < 4\sigma$, вычисляющий $E[v(A)]$:

1. Зададим $A' = A/\sigma$.
2. Запустим A' один раз и обозначим $\tilde{m}$ как результат.
3. Зададим B как производный алгоритм по выполнению A' и вычитанию $\tilde{m}$.
4. Применим шаг 2 к алгоритмам $-B_{<0}/4$ и $B_{<0}/4$ с точностью $\varepsilon/(32\sigma)$ и вероятностью отказа 1/9 для произведения оценки $\tilde{\mu}^-, \tilde{\mu}^+$ из $E[v(-B_{<0}/4)]$ и $E[v(B_{<0}/4)]$ соответственно.
5. Зададим $\tilde{\mu} = \tilde{m} - 4\tilde{\mu}^- + 4\tilde{\mu}^+$.
6. Результат $\sigma\tilde{\mu}$.

Проверка с использованием пакета средств разработки Microsoft Quantum (QDK) [15] показала возможность построения вероятностной модели входных параметров факторинговых операций в режиме реального времени, а значит, и использования данного метода при построения автоматизированных информационных систем поддержки принятия факторинговых решений.

Заключение

В статье рассмотрены количественные показатели по использованию факторинговых финансовых инструментов компаниями на российском рынке за последние три года, явно указывающие на значительную и с каждым годом возрастающую роль этого продукта как функции по управлению финансами предприятия. С учетом возрастающей нагрузки на информационные системы, обеспечивающие автоматизацию данного процесса, а также отсутствия возможности использования вероятностных моделей входных параметров от рейтинговых агентств эффективное использование и развитие АИС управления процессом факторинга на предприятиях в будущем невозможно без применения методов оптимизации классических алгоритмов. Возможность высокой параллелизации исполняемых процессов с помощью использования, наряду с классическими алгоритмами, квантовых вычислений говорит о высокой перспективе данной тематики для повышения эффективности рассматриваемой функции управления предприятием. Вместе с тем при разработке стоит учитывать показанные особенности применения параллелизации квантовых вычислений, а значит, результирующий алгоритм должен будет использовать квантовые вычисления лишь в тех случаях, где возможно использование их преимуществ перед классическими. В ходе исследования нами была предложена вариация квантового алгоритма Монте-Карло, адаптированная к использованию в целях поддержки принятия факторинговых решений, с ограниченной дисперсией, проведена проверка полученного алгоритма с использованием QDK на языке Q# и показана возможность их использования при построении автоматизированных информационных систем поддержки принятия факторинговых решений, что дополнит существующие АИС и позволит избежать ручного вмешательства кредитных специалистов в автоматизированный процесс. Показанный результат позволяет улучшить систему поддержки принятия факторинговых решений за счет комбинирования классических и квантовых вычислений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Глухарева С.В.* Управление организацией (предприятием). Томск: В-Спектр, 2014. 41 с.
2. Ассоциация факторинговых компаний. Информационный обзор рынка факторинга по итогам 2019 года. М.: АФК, 2020. 30 с.
3. *Ассоциация факторинговых компаний.* Информационный обзор рынка факторинга по итогам 2020 года. М.: АФК, 2021. 13 с.
4. *Ассоциация факторинговых компаний.* Информационный обзор рынка факторинга по итогам 2021 года. М.: АФК, 2022. 40 с.
5. *Копыльцов А.А., Копыльцов А.В.* От парадигмы императивного программирования к парадигме квантовых вычислений и далее // Современное программирование: Материалы III Международной научно-практической конференции. Нижневартовск: НВГУ, 2021. С. 8–9.
6. *Амбарян Т.Р.* Параллельные вычисления в нейронных и квантовых сетях // Труды СПИИРАН. Вып. 1. Т. 3. СПб.: СПИИРАН, 2003. С. 62–64.
7. *Феоктистова М.В.* Математическая модель квантового компьютера // Материалы Десятой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура сибирского региона». Т. 1. Иркутск: ИГУПС, 2019. С. 280–284.
8. *Djordjevic I.B.* Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction (Second Edition) // Academic Press, 2021. P. 251–286.
9. *Parekh R., Ricciardi A., Darwish A., DiAdamo S.* Quantum Algorithms and Simulation for Parallel and Distributed Quantum Computing // 2nd International Workshop on Quantum Computing Software, 2021. P. 3–6. doi:10.48550/arXiv.2106.06841.
10. *Suzuki Y., Uno S., Raymond R., Tanaka T., Onodera T., Yamamoto N.* Amplitude estimation without phase estimation // Quantum Information Processing. Vol. 19, no. 2. P. 1–17, 2020.
11. *Shor P.W.* Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, NM, USA, EEE Computer Society Press, 1994. P. 124–134.
12. *Shor P.W.* Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. SIAM J. Computing 26, 1997. P. 1484–1509.
13. *Barlett S.* Lecture on quantum computing // NITP Summer School, Adelaide, Australia, 2003.
14. *Мясников А.А.* Анализ данных в управлении рисками факторинга // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. Саратов: Научная книга, 2018. С. 224–227.
15. Azure Quantum documentation. https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/ (accessed April 20, 2023).

Статья поступила в редакцию 07 апреля 2023 г.

QUANTUM COMPUTING IN AUTOMATED INVOICE FACTORING CONTROL SYSTEMS

R.O. Boryaev, A.V. Chuvakov*

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

E-mail: r.boryaev@gmail.com, avch2105@gmail.com

Abstract. *The aim of this paper is to describe existing approaches to automation in enterprise management systems of invoice factoring operations. The relevance of this problem is estimated by the volume and dynamics of growth of the invoice factoring market in the Russian Federation. The existing performance problems inherent in software built on the basis of classical algorithms are considered, and their optimization by using quantum algorithms is proposed. Attention is focused on the problem of parallel computing as the main feature, which allows to achieve a significant increase in computing power. Possible way of solution, based on the joint use of quantum and classical approach within one software complex is given. Application of quantum Monte Carlo method for the purpose of improvement of the automated information system of the enterprise is described. The received result allows to draw a conclusion about perspective of use of the given technique for construction of the combined quantum and classical algorithms in systems of management of factoring operations.*

Keywords: *automated informational systems, invoice factoring, quantum computing, parallel computing, cubit, superposition, quantum Monte Carlo method.*

REFERENSES

1. *Glukhareva S.V.* Upravleniye organizaciey [Organizational management]. Tomsk: V-Spectr, 2014. 40 pp. (In Russian)
2. *Invoice factoring company association*, Informacionniy obzor rynka factoringa po itogam 2019 goda [Informational overview of invoice factoring market by results of 2019]. M.: AFK, 2020. 30 pp. (In Russian)
3. *Invoice factoring company association*, Informacionniy obzor rynka factoringa po itogam 2020 goda [Informational overview of invoice factoring market by results of 2020]. M.: AFK, 2021. 13 pp. (In Russian)
4. *Invoice factoring company association*, Informacionniy obzor rynka factoringa po itogam 2021 goda [Informational overview of invoice factoring market by results of 2021]. M.: AFK, 2022. 40 pp. (In Russian)
5. *Kopilcov A.A., Kopilcov A.A.* Ot paradigmy imperativnogo programmirovaniya k paradigme kvantovyh vychislenij i dale [From paradigm of imperative programming to paradigm of quantum computing and further] // Sovremennoe programmirovanie: Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Nizhnevartovsk: NVGU, 2021. Pp. 8–9. (In Russian)
6. *Abramian T.R.* Parallel'nye vychisleniya v nejronnyh i kvantovyh setyah [Parallel computations in neuron and quantum networks] // SPIIRAN Works. Vol. 1, b. 3. Spb.: SPIIRAN, 2003. Pp. 62–64 (In Russian)
7. *Feoktistova M.V.* Matematicheskaya model' kvantovogo komp'yutera [Math model of quantum computer] // Sibirean region transport infrastructure. Vol. 1. Irkutsk: IGUPS, 2019. P. 280–284. (In Russian)
8. *Djordjevic I.B.* Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction (Second Edition) // Academic Press, 2021. P. 251–286.

* *Rodion O. Boryaev, Postgraduate Student.*
Aleksandr V. Chuvakov (Ph.D. (Chem.)), Associate Professor.

9. *Parekh R., Ricciardi A., Darwish A., DiAdamo S.* Quantum Algorithms and Simulation for Parallel and Distributed Quantum Computing // 2nd International Workshop on Quantum Computing Software, 2021. Pp. 3–6. doi:10.48550/arXiv.2106.06841
10. *Suzuki Y., Uno S., Raymond R., Tanaka T., Onodera T., Yamamoto N.* Amplitude estimation without phase estimation // Quantum Information Processing. 2020. Vol. 19, no. 2. P. 1–17.
11. *Shor P.W.* Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, NM, USA, EEE Computer Society Press, 1994. Pp. 124–134.
12. *Shor P.W.* Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer // SIAM J. Computing 26, 1997. Pp. 1484–1509.
13. *Barlett S.* Lecture on quantum computing // NITP Summer School, Adelaide, Australia, 2003.
14. *Myasnikov A.A.* Analiz dannyh v upravlenii riskami faktoringa [Data Analysis in the Management of Risks of a Factoring Company] // Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management: Science book. Saratov, 2018. Pp. 224–227. (In Russian)
15. Azure Quantum documentation. https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/ (accessed April 20, 2023).