

---

---

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ  
В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

---

---

## ПРОИЗВОДСТВО ВАЛИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИЯХ ЭЛИТНЫХ СЕМЕНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Ш. Н. Абдугаппарова

*Андижанский государственный университет*

**Аннотация.** В статье приведен аналитический анализ проблем механизации отдельного извлечения семян хлопчатника (репродукции), выращиваемых в элитных семеноводческих хозяйствах республики. На основе приведенного аналитического анализа изложено, что разработано техническое решение проблемы и обосновано направление исследований.

**Ключевые слова:** элита, семена, хлопок, поколение, семья, пыльный джин, рабочая камера, сортовая чистота, валичный джин.

Семена, предназначенные для посева семян хлопчатника, высеваются в фермерских хозяйствах, прошедших тендер и на специальных семеноводческих предприятиях, а также в хозяйствах научно-исследовательского института. Эти хозяйства должны иметь высокий балл бонитета, высокие показатели водоснабжения и экономики, а также быть обеспечены специалистами в области семеноводства. В период вегетации проводится отбор по морфологическим признакам, характерным для каждого сорта и поколения.

В элитных семеноводческих хозяйствах налажена специальная система выращивания семенного хлопка, основной целью которой является обеспечение соответствия поколений семенного хлопка установленным нормам сортовой чистоты. Семенной хлопок выращивают в основном в элитных семеноводческих хозяйствах, частных семеноводческих предприятиях и филиалах научно-исследовательских институтов, а для индивидуального отбора, пробы, размножения семян элитные семена собирают и хранят в специальных закрытых хранилищах до отделения их от семян в мешках в соответствии с установленным порядком [1].

Например, в элитных семеноводческих хозяйствах на небольшой площади (1,1 га) в питомнике первого года будет организовано высевание не менее 1500 семей семян хлопчатника. Семенной хлопок каждой семьи, собранный отдельно (индивидуальный отбор), содержится примерно в количестве 60–85 граммов. С целью выделения семян хлопчатника, относящихся к данному семейству, используются лабораторные джины марки ДЛ-10 с 10 шт пилами, имеющиеся в лабораториях элитных семеноводческих хозяйств (рис. 1).

10 штук пилы, применяемые в лабораториях элитных семеноводческих хозяйств, не позволяют джинировать небольшое количество образцов хлопка. В соответствии с особенностями конструкции пыльного джина, процесс джинирования (отделения семян от хлопка) может быть выполнен только при условии, что хлопок-сырец подается в рабочую камеру джина и рекомендуемая плотность хлопка в рабочей камере постоянно обеспечивается [2].

Для обеспечения плотности хлопка в рабочей камере пыльного джина марки ДЛ-10 требуется хлопок в количестве 0,5–0,8 кг, после чего процесс джинирования происходит стабильно только при постоянном подаче хлопка в рабочую камеру и одновременном обеспечении плотности. По этой причине, как отмечалось выше, семенной хлопок из малого количества сеянцев первого года вообще нельзя протюжить в пыльном джине.

Для решения существующей проблемы разработано техническое решение. При разработке технического решения основное внимание было уделено требованию осуществления качественного процесса джинирования малых количеств образцов хлопка, и было установлено, что это можно осуществить за счет совершенствования процесса валичного джинирования. Схематический чертеж разработанного технического решения представлен на рис. 2.

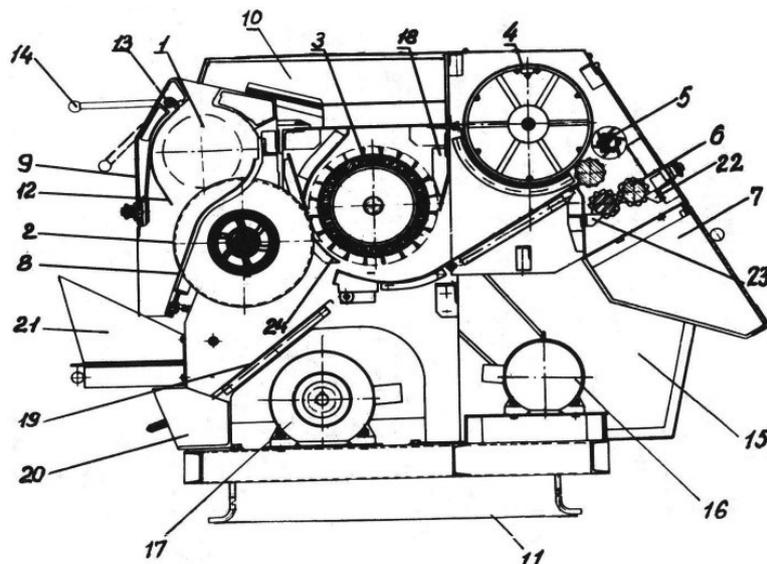


Рис. 1. Схема лабораторной жины ДЛ-10

- 1 — рабочая камера; 2 — пильный цилиндр; 3 — щеточный барабан; 4 — конденсорный барабан; 5 — выпускной валик; 6 — валики уплотнения; 7 — бункер для волокна; 8 — колосниковая решетка; 9 — фартук; 10 — лоток для хлопка; 11 — осто; 12 — семенная пластинка; 13 — шарнир; 14 — рукоятка семенной планки; 16, 17 — электродвигатели; 18 — направляющий; 19 — направляющая плоскость; 20 — улюковый ящик; 21 — чигит новые; 22, 23 — препятствия; 24 — козерёги улюка

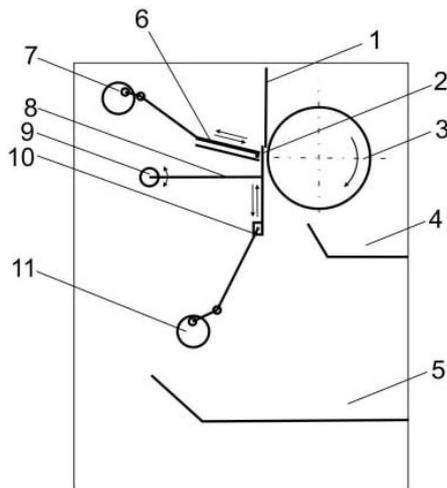


Рис. 2. Схема валичного лабораторного полотна по разработанному техническому решению  
 1 — рабочий барабан; 2 — неподвижный нож; 3 — ударный нож; 4 — обеспечивающая планка;  
 5 — колосниковая решетка; 6 — прижимный механизм; 7 — пружина; 8 — электродвигатель;  
 9, 10 — шкавы; 11 — звездочка

В целях повышения производительности за счет улучшения условий получения волокна в рабочей камере перед зоной джинирования, содержащей рабочий барабан, нанесенный на его поверхность неподвижный нож и плоский нож в форме сепарирующего органа, осуществляющий поступательно-возвратное движение, в процессе перемещения хлопковых лепестков в рабочую камеру устанавливаются планки питания хлопковых лепестков на рабочий барабан путем пропуска к неподвижному ною Кроме того, питающая планка может иметь форму прямоугольного ковша с приводом, обеспечивающим его поступательно-возвратным движением по направлению подачи хлопка.

В план дальнейших научных исследований включены изготовление рабочих чертежей по разработанному техническому решению, создание опытной копии лабораторного джина и обоснование его основных параметров.

### Литература

1. Данные интернета. <https://yandex.ru/search/?clid=2413868-656&win=523&from=chromesearch&text=%D0%A3%D1%80%D1%83%D2%93%D0%BB%D0%B8%D0%BA+%D0%BF%D0%B0%D1%85%D1%82%D0%B0&lr=10335>

2. Руководство по первичной обработке хлопка. – Ташкент : АО «Узпахтасаноат», 2019. – 477 с.

**РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ  
НА КАФЕДРЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин**

*Воронежский государственный университет*

**Аннотация.** Представлены элементы учебно-методической базы для подготовки на уровне высшей школы востребованных специалистов в области информационных технологий, в частности, в области квантовых вычислений. Высокий научный и методический уровень такой подготовки обеспечивают необходимые программно-аппаратные средства и специализированные учебно-методические комплексы.

**Ключевые слова:** квантовые вычисления, квантовые алгоритмы, квантовая теория информации, информационные технологии, образовательный процесс, высшее образование, учебное пособие.

**Введение**

В течение последних нескольких десятилетий наблюдается значительный рост основных характеристик вычислительных систем как в количественном плане, так и за счет появления новых идей и методов, ориентированных на проведение ресурсоемких вычислений. В первую очередь такого рода прорывные идеи возникают в задачах построения аппаратной базы ЭВМ. Дальнейшее развитие и совершенствование аппаратной базы компьютерной архитектуры привлекает новейшие методы квантовой теории, теории твердого тела, наук о современных материалах и другие области. Хотя квантовая теория изучает наиболее общие законы и явления микромира, как правило, в масштабах атомов и молекул, следствия этих законов определяют принципы функционирования ЭВМ. Представляя собой теоретический базис для электроники, физики полупроводников и твердого тела, квантовая теория позволяет не только объяснять физические явления, возникающие в процессе работы электронных устройств, но и предсказывать новые явления и закономерности. Исчерпывающее описание процессов, происходящих в полупроводниковых схемах, позволяет улучшать характеристики доступных приборов и компонентов, а также, что очень важно, разрабатывать и внедрять устройства, обладающие более широкими возможностями.

Как правило, компьютерные системы рассматривают в виде иерархии уровней, каждый из которых выполняет какую-либо определенную функцию. Для разработки качественного и востребованного программного обеспечения требуется, чтобы программисты хорошо представляли, как работает вычислительная система не только на верхних уровнях компьютерной архитектуры (уровень языка прикладных программистов), но также и на цифровом логическом уровне и уровне физических устройств. Для детального описания процессов вычислений на последнем из приведенных уровней необходимо обращаться к представлениям и методам квантовой механики. Тенденция монотонного уменьшения размеров и энергопотребления полупроводниковых транзисторов и других элементов электронных схем показывает, что переход на масштабы, сравнимые с размером молекул и атомов, потребует применения принципиально иных методов и технологий построения электронных компонентов.

Решение фундаментальных и прикладных задач, связанных с математическим моделированием, проводится, как правило, с помощью суперкомпьютерных технологий [1, 2]. Вычислительные ресурсы суперкомпьютерных центров используются для решения наиболее сложных

и масштабных задач. Также следует отметить, что большинство широко распространенных компьютерных систем снабжается многоядерными процессорами, и программирование таких систем входит в спектр необходимых компетенций разработчика программного обеспечения. Это связано с тем, что трудности, встречающиеся при разработке последовательных версий программ, остаются и при создании их параллельных версий [3–5].

Также растут и требования по отношению к ресурсам вычислительных систем. Например, алгоритмы, основанные на нахождении всех подмножеств конечного множества, задача коммивояжера, переборные алгоритмы и многие другие с ростом размера входных данных требуют резкого увеличения вычислительных ресурсов. Таким образом, современные задачи предъявляют значительные требования как по сложности вычислений, так и по объему памяти компьютерной системы. Возможности масштабирования вычислительных ресурсов обычно крайне ограничены, что приводит к необходимости поиска новых методов вычислений.

В качестве перспективного подхода к организации высокопроизводительных вычислений в настоящее время активно развивается направление квантовых вычислений. Как показали исследования, квантовые способы решения задач в ряде случаев обеспечивают экспоненциальное ускорение по сравнению с традиционными вычислительными алгоритмами. Идея ускорения расчетов путем использования квантовых систем стала ключевым направлением исследований во многих академических и промышленных мировых центрах.

В квантовых компьютерах для реализации вычислений используются процессы квантовой природы, проявляющиеся в экспериментах с объектами микромира [6–8]. Описание таких процессов основано на математическом аппарате абстрактных функциональных пространств. Переход к новым, квантовым способам вычислений, сопровождается созданием и совершенствованием, во-первых, принципиально новой аппаратной базы и, во-вторых, формулировкой алгоритмов в виде квантовых схем, использующих в процессе своей работы свойства, специфические для микромира. К таким свойствам относят суперпозицию состояний, квантовую запутанность (или, как говорят, сцепленность), и эти свойства позволяют внести ресурс параллелизма во многих задачах, решение которых является ресурсоемким.

Значительный интерес исследователей и промышленности к квантовым вычислениям основан на возможности достижения «квантового превосходства». Концепция квантового превосходства заключается в возможности проведения на квантовом компьютере таких вычислений, выполнение которых на классических вычислительных системах требует значительного количества времени. Полнофункциональный квантовый компьютер пока еще не построен, и существующие квантовые информационные системы еще не превосходят классические суперкомпьютеры в решении массовых прикладных задач. В настоящее время уже можно говорить хотя и не о квантовом превосходстве, но о значимом квантовом преимуществе для ряда задач в области методов оптимизации и машинного обучения [7].

## **1. Учебно-методическая база**

Будущие специалисты в области информационных технологий должны обладать компетенциями применения вычислений с использованием квантовых информационных систем для решения актуальных ресурсоемких задач. Эти компетенции вырабатываются в вузах в процессе их обучения по программам общих и специальных курсов. Достижению указанных компетенций способствует наличие доступной аппаратной базы и программных средств, а также учебно-методической базы.

На кафедре цифровых технологий факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета подготовка бакалавров и магистров в области квантовых вычислений, квантовых информационных систем и программирования квантовых компьютеров

ведется более 15 лет. Учебным планом по программе бакалавриата 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль обучения «Математическое и программное обеспечение информационных систем и технологий», предусмотрены дисциплины:

- квантовая теория (зачет с оценкой, 4 сем.),
- квантовые информационные системы (зачет с оценкой, 5 сем.),
- квантовые вычисления (зачет, 6 сем., и зачет с оценкой, 7 сем.),
- линейная алгебра в квантовых вычислениях (зачет с оценкой, 5 сем.),
- языки программирования квантовых компьютеров (зачет, 6 сем.),
- алгоритмы коррекции ошибок (зачет с оценкой, 7 сем.),
- квантовая теория информации (зачет, 8 сем.).

В учебный план по программе магистратуры 02.04.01 «Математика и компьютерные науки», профиль обучения «Компьютерное моделирование и искусственный интеллект», включена дисциплина «Квантовые информационные системы» (экзамен, 2 сем.).

Ежегодно выполняются курсовые и выпускные квалификационные работы бакалавров и магистров по этой тематике. Сотрудниками кафедры опубликована серия учебников и учебных пособий [8-13]. Поддерживается постоянный контакт с лабораторией сверхпроводящих и квантовых технологий Центра фундаментальных и прикладных исследований Всероссийского научно-исследовательского института автоматизации им. Н.Л. Духова, сотрудники кафедры принимают участие в проводимых ими семинарах. Сотрудники и студенты участвуют в обсуждении задач развития квантовых вычислений на конференциях GRID (ОИЯИ, г. Дубна).

На факультете компьютерных наук было организовано взаимодействие с фирмой QRate, которая входит в состав Российского Квантового Центра. Фирма представила на факультете свой научно-образовательный комплекс QLab для изучения квантовых коммуникаций и фотоники, с помощью которого можно готовить специалистов и проводить исследования в области квантовых коммуникаций. Экспериментальные установки QLab предназначены для реализации оптических схем, предназначенных для работы с квантовыми состояниями света, изучения принципов квантовой интерференции и свойств неклассических состояний света, которые лежат в основе перспективных методов передачи и защиты информации.

На рис. 1 приведены учебные пособия, составляющие основу учебно-методического комплекса. Отличительной особенностью всех этих пособий является направленность учебного материала для изучения будущими специалистами в области информационно-коммуникационных технологий. В частности, в пособии [10] нашел свое отражение новый учебный материал, содержащий примеры и методы решения задач в этой области. Содержание книги можно разделить на две части. В первой части, которую составляют главы 1–8, представлен теоретический материал и даны многочисленные примеры решения задач. Дается представление о квантовой модели вычислений, об основных операциях над кубитами и универсальных элементах квантовых схем, вводятся определения запутанных состояний и детально анализируется эксперимент Эйнштейна — Подольского — Розена. Большое внимание уделяется примерам важнейших квантовых алгоритмов, практические аспекты квантовых вычислений продемонстрированы на примерах алгоритма квантового преобразования Фурье и алгоритма оценки фазы оператора. Другая часть книги содержит задания для самостоятельного решения, а также ответы, указания и решения к задачам. Достаточно полное изложение методов квантовых вычислений удалось осуществить при относительно небольшом объеме книги. Наличие учебного материала, затрагивающего темы «Квантовая телепортация» и «Постулаты квантовой теории», делает доступным изучение этих актуальных и важных тем для обширного круга читателей. Широкий спектр примеров и задач для самостоятельного решения позволяет развить практические навыки построения и реализации квантовых схем.

В книге [13] значительная часть учебного материала посвящена основам квантовой теории информации. Дается представление об операторе плотности и его основных свойствах,



Рис. 1. Учебные пособия, составляющие основу комплекса

вводятся базовые характеристики квантовой информации — энтропия фон Неймана, условная и относительная энтропия, квантовая взаимная информация. Перечислены свойства важнейших каналов связи. На ряде примеров рассмотрены меры информации, заключенной в чистых и смешанных квантовых состояниях. Задачи и примеры охватывают такие темы, как свойства операторов в квантовой теории информации, состояния и измерения, вычисление частичного следа, формализм квантовых схем. Заключительная глава книги содержит резюме современных достижений науки о квантовых вычислениях. На основе условий ДиВинченцо сформулированы направления развития аппаратных и программных методов такого способа вычислений. Таким образом, книга [13] является современным введением в методы квантовых вычислений, в которой детально отражена связь квантовой теории с информатикой, теорией алгоритмов и теорией передачи и хранения информации. Такое изложение учебного материала ориентировано на использование для подготовки специалистов в области фундаментальных основ компьютерных наук, способных осваивать и применять на практике новейшие подходы к решению вычислительных задач.

## Заключение

Решение актуальных задач требует в настоящее время как высокопроизводительных вычислений, так и перспективных квантовых вычислений. Подготовка специалистов в области информационно-коммуникационных технологий, и в частности, квантовых вычислений, должна осуществляться на высоком научном и методическом уровне, идти по пути обновления учебных курсов, широкого применения необходимых программно-аппаратных средств и специализированных учебно-методических комплексов.

## Литература

1. Кургалин С. Д. Using the resources of the Supercomputer Center of Voronezh State University in learning processes and scientific researches / С. Д. Кургалин, С. В. Борзунов // Труды между-

народной конференции «Суперкомпьютерные дни в России». – Москва : Изд-во МГУ, 2018. – С. 972–977.

2. *Кургалин С. Д.* Суперкомпьютерная система как фактор влияния на образовательный процесс / С. Д. Кургалин, С.В. Борзунов // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : Сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 4–6 декабря 2023 г. – Воронеж : Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2024. – С. 4–9.

3. *Кургалин С. Д.* Суперкомпьютерные технологии в Воронежском государственном университете / С. Д. Кургалин, С. В. Борзунов // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: Проблемы высшего образования. – 2018. – № 3. – С. 183-187.

4. *Kurgalin S.* A Practical Approach to High-Performance Computing / S. Kurgalin, S. Borzunov. – Cham : Springer, 2019. – 206 p. DOI: 10.1007/978-3-030-27558-7.

5. *Борзунов С. В.* Суперкомпьютерные вычисления: практический подход / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2019. – 256 с. – (Учебная литература для вузов).

6. *Нильсон М.* Квантовые вычисления и квантовая информация / М. Нильсен, И. Чанг. – Москва : Мир, 2006. – 824 с.

7. *Hidary J. D.* Quantum computing: an applied approach / J. D. Hidary. – Second ed. – Cham : Springer, 2019. – 422 p.

8. *Запрягаев С. А.* Квантовые информационные системы. Теория и практика применения / С. А. Запрягаев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2023. – 320 с.

9. *Борзунов С. В.* Основы квантовых вычислений (для программистов) / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020. – 100 с.

10. *Борзунов С. В.* Квантовые вычисления / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. – (Серия: Учебная литература для вузов). – 144 с.

11. *Kurgalin S.* Concise Guide to Quantum Computing: Algorithms, Exercises, and Implementations / S. Kurgalin, S. Borzunov. – Springer, 2021. – (Series: Texts in Computer Science). – 122 p. DOI: 10.1007/978-3-030-65052-0.

12. *Борзунов С. В.* Основы квантовых вычислений. Квантовые схемы / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2023. – 150 с. – ISBN 978-5-9273-3845-0.

13. *Борзунов С. В.* Основы квантовых вычислений и квантовой теории информации / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2025. – 248 с. – (Учебная литература для вузов).

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА TREECODE ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

Д. С. Сиротин, Н. М. Кузьмин, А. В. Хоперсков

*Волгоградский государственный университет*

**Аннотация.** В работе проведен анализ эффективности параллельной реализации метода TreeCode для численного решения задачи динамики  $N$  гравитирующих тел. Вычисления проводились на различных вычислительных системах с общей памятью, распараллеливание осуществлялось с помощью технологии OpenMP. При выполнении параллельной программы использовались как физические процессорные ядра, так и дополнительные логические потоки (технология Hyper-Threading). Показано, что использование дополнительных логических потоков при полной их загрузке дает прирост параллельной эффективности в среднем на 20 %.

**Ключевые слова:** параллельные вычисления, архитектуры вычислительных систем, системы с общей памятью, технология OpenMP, технология Hyper-Threading, логические вычислительные потоки, эффективность параллельных программ, компьютерное моделирование, модели  $N$  тел, алгоритм TreeCode.

### Введение

В данной работе рассматривается эффективность параллельных вычислений для численного моделирования динамики  $N$  тел методом TreeCode [1] на системах с общей памятью. Вычислительный код, адаптированный для моделирования динамики бесстолкновительных галактических подсистем [2, 3], был распараллелен с помощью технологии OpenMP.

Для определения количественных характеристик качества распараллеливания кода обычно используются ускорение (speedup)  $S$  и эффективность (efficiency)  $E$ , определяемые по формулам

$$S(M) = \frac{T(1)}{T(M)}, \quad E(M) = \frac{S(M)}{M},$$

где  $T$  — время выполнения одного шага вычислений,  $M$  — количество потоков.

Многие современные вычислительные системы поддерживают гиперпоточность (технология Hyper-Threading), позволяющую выполнять параллельно более одного логического потока на одном физическом ядре. В таком случае эффективность в расчете на одно физическое ядро следует вычислять по модифицированной формуле

$$E^{(P)}(M) = \begin{cases} \frac{S(M)}{M}, & \text{при } M \leq P, \\ \frac{S(M)}{P}, & \text{при } M > P, \end{cases}$$

где  $P$  — количество физических процессорных ядер.

### 1. Эффективность параллельных расчетов

Для исследования производительности параллельного кода были рассмотрены различные вычислительные системы с общей памятью, поддерживающие технологию гиперпоточности Hyper-Threading. На рис. 1 для моделей с различным количеством частиц  $N$  приведены зависимости времени вычислений, ускорения и эффективности от количества вычислительных

потоков для различных вычислительных систем, вертикальными линиями отмечены стандартные ошибки среднего.

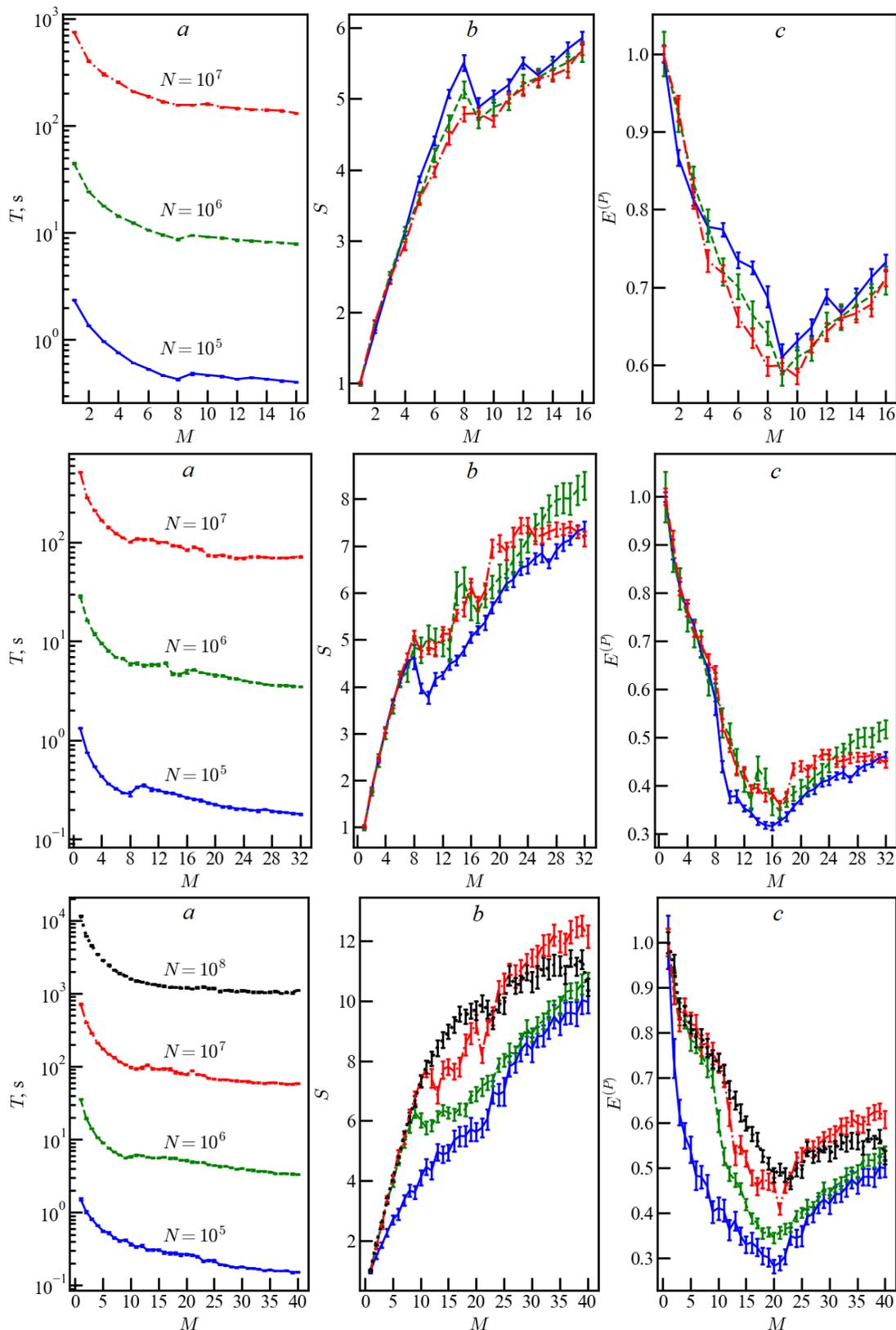


Рис. 1. Зависимости времени (а), ускорения (b) и эффективности (с) от количества вычислительных потоков для различных вычислительных систем с поддержкой технологии Hyper-Threading. Показаны результаты для различных значений  $N$

Анализ этих зависимостей показывает, что использование дополнительных логических потоков способно существенно влиять на эффективность вычислений: при  $M > P$  эффективность сначала падает, а затем начинает возрастать, достигая максимума при использовании всех доступных параллельных вычислительных потоков. Этот максимум в среднем на 20 % выше, чем значение эффективности при количестве потоков, равном количеству физических ядер. Соответственно, часто применяемый в параллельных вычислениях подход, основанный на равенстве количества вычислительных потоков и физических ядер, не является оптимальным.

## 2. Зависимость эффективности от характеристик вычислительной системы

Одной из характеристик вычислительных систем является отношение тактовой частоты оперативной памяти к тактовой частоте процессора. Эффективность вычислений при различных значениях этого параметра для случая четырех потоков показана на рис. 2.

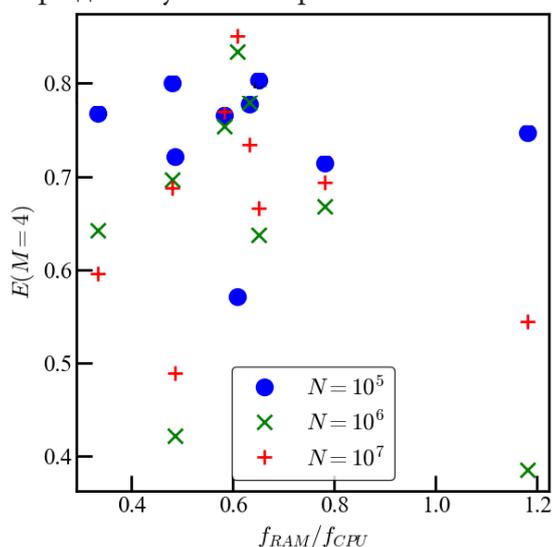


Рис. 2. Значения эффективности параллельных вычислений для четырех потоков при различных отношениях тактовых частот памяти и процессора (для различных вычислительных систем). Показаны результаты для различных значений  $N$

Ввиду небольшого количества исследованных вычислительных систем сложно сделать выводы о какой-либо зависимости. Кроме того, на эффективность могут оказывать влияние и другие факторы. Так, современные процессоры, как правило, способны динамически менять свою частоту в зависимости от уровня текущей вычислительной нагрузки. Такое изменение может происходить в несколько этапов и никак не контролируется пользователем (на рис. 2 приведены результаты для номинальной частоты процессора). Кроме того, существуют процессоры с неравноценными ядрами (т. н. производительные и энергоэффективные ядра), работающими на разных тактовых частотах. Все это существенно усложняет анализ зависимости скорости вычислений от характеристик конкретной системы и требует отдельного исследования.

## Заключение

Проведенное нами исследование позволяет сделать вывод о том, что в системах с общей памятью неполное использование дополнительных логических вычислительных потоков (технология Hyper-Threading) способно привести к заметному падению производительности (в среднем на 10 %). Однако полная загрузка всех доступных логических вычислительных по-

токов способна увеличить производительность параллельных вычислений в среднем на 20 % в зависимости от конкретной вычислительной системы. Поэтому подход к распараллеливанию программ на системах с общей памятью, основанный на равенстве количества вычислительных потоков и физических ядер, не является оптимальным.

Вопросы, связанные с влиянием на эффективность вычислений таких факторов, как динамическое изменение тактовой частоты процессора и совместное использование производительных и энергоэффективных ядер, требуют дополнительного изучения.

### Литература

1. *Barnes J.* A Hierarchical  $O(N \log N)$  Force-Calculation Algorithm / J. Barnes, P. Hut // *Nature*. – 1986. – Vol. 324. – P. 446–449.

2. *Khrapov S.* Study of the Effectiveness of Parallel Algorithms for Modeling the Dynamics of Collisionless Galactic Systems on GPUs / S. Khrapov, A. Khoperskov // *Supercomputing Frontiers and Innovations*. – 2024. – Vol. 11, No 3. – P. 27–44.

3. Numerical simulation of the galaxies outer spiral structure: the influence of the dark halo non-axisymmetry on the gaseous disk shape / M. A. Butenko, I. V. Belikova, N. M. Kuzmin [et al.] // *Mathematical Physics and Computer Simulation*. – 2022. – No 25 (3), P. 73–83.