

## ВЕКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ

Сарайкин А. И. ORCID ID 0009-0005-3954-8027

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко», Оренбург,  
Российская Федерация, e-mail: saraikin-a@yandex.ru*

Современное развитие вычислительной техники характеризуется переходом от наращивания тактовой частоты к массовому внедрению параллельных архитектур, однако эффективное использование многоядерных и гетерогенных систем требует решения таких проблем, как минимизация задержек доступа к памяти, распределение задач и синхронизация. Цель исследования – выявление и систематизация перспективных векторов развития параллельной обработки данных на основе патентного анализа, а также определение ключевых патентообладателей, формирующих технологический базис в данной области. В работе проанализирована выборка из 294 274 патентов, поданных в ведущие мировые ведомства за 2005–2025 гг., с использованием методов количественного анализа и тематического кластерирования. Результаты демонстрируют устойчивый рост патентной активности (среднегодовой темп прироста 5,9 %) и географическую концентрацию патентообладателей в США (82,9 %). Выделено четыре технологических вектора: оптимизация доступа к памяти (38,0 %), потоковая и распределенная обработка данных (26,8 %), специализированные аппаратные архитектуры (17,7 %), а также управление задачами и синхронизация (17,5 %). Доминирование первого вектора подтверждает, что ключевой проблемой индустрии являются задержки при перемещении данных между вычислительными ядрами и подсистемой памяти. В ближайшие 5–7 лет технологии процессоров в памяти, оптические межсоединения и аппаратные ускорители сетевых функций могут перейти в разряд промышленных стандартов, однако сохраняется риск фрагментации и вендор-зависимости. Научная новизна заключается в количественном выявлении структуры патентной активности и эмпирическом доказательстве приоритета оптимизации доступа к памяти над задачами синхронизации.

**Ключевые слова:** параллельная обработка данных, оптимизация памяти, многопроцессорные системы, потоковая обработка

## VECTORS OF DEVELOPMENT OF PARALLEL DATA PROCESSING: PATENT ANALYSIS OF HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS

Saraykin A. I. ORCID ID 0009-0005-3954-8027

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Orenburg State University named after V. A. Bondarenko”, Orenburg,  
Russian Federation, e-mail: saraikin-a@yandex.ru*

Current developments in computer technology are characterized by a shift from increasing clock frequency to the widespread adoption of parallel architectures. However, the effective use of multi-core and heterogeneous systems requires addressing challenges such as minimizing memory access latency, task distribution, and synchronization. The aim of this study is to identify and systematize promising vectors for the development of parallel data processing based on patent analysis, as well as to determine the key patent holders shaping the technological foundation in this field. A sample of 294,274 patents filed with leading global patent offices between 2005 and 2025 was analyzed using quantitative analysis and thematic clustering. The results demonstrate steady growth in patent activity (compound annual growth rate of 5.9 %) and a geographic concentration of patent holders in the United States (82.9 %). Four technological vectors are identified: memory access optimization (38.0 %), streaming and distributed data processing (26.8 %), specialized hardware architectures (17.7 %), and task management with synchronization (17.5 %). The dominance of the first vector confirms that the key industry challenge is latency in data transfer between computing cores and the memory subsystem. In the next 5–7 years, technologies such as processing-in-memory (PIM), optical interconnects, and hardware accelerators for network functions may become industry standards; however, the risk of fragmentation and vendor lock-in remains. The scientific novelty lies in the quantitative identification of the patent activity structure and empirical evidence of the priority of memory access optimization over synchronization tasks.

**Keywords:** parallel data processing, memory optimization, stream processing, multiprocessor systems

### Введение

Современный этап развития вычислительной техники характеризуется фундаментальным сдвигом: эпоха наращивания тактовой частоты процессоров уступила место эпохе параллелизма. Экспоненциальный рост объемов данных, обусловлен-

ный развитием интернета вещей и систем искусственного интеллекта, предъявляет качественно новые требования к производительности вычислительных систем. В ответ индустрия движется по пути массового внедрения многоядерных процессоров, графических ускорителей и распределенных

сред, где эффективность параллельной обработки становится критическим фактором конкурентоспособности.

Однако простого увеличения числа вычислительных ядер недостаточно. Ключевые проблемы лежат в распределении задач между гетерогенными ресурсами, минимизации задержек при доступе к памяти, синхронизации процессов и преодолении проблемных мест коммуникации. Решение этих проблем требует развития методов параллельного программирования, оптимизирующих компиляторов, алгоритмов планирования задач и структур данных для многопоточных систем. Их совершенствование невозможно без понимания долгосрочных технологических трендов.

В этом контексте патентная документация выступает уникальным источником информации о стратегических направлениях технологического развития. В отличие от академических публикаций, патенты фиксируют инженерные решения, готовые к коммерциализации, что позволяет достоверно прогнозировать векторы развития вычислительной техники.

**Цель исследования** – выявление и систематизация перспективных векторов развития параллельной обработки данных на основе патентного анализа (2005–2025 гг.), а также определение ключевых патентообладателей, формирующих технологический базис в данной области.

Научная новизна исследования состоит в том, что впервые на масштабном патентном массиве (294 274 документа) количественно выделены доли четырех технологических векторов параллельной обработки данных, эмпирически доказано доминирование проблематики доступа к памяти (38,0 %) над задачами синхронизации (17,5 %), а также на основе динамики патентования предложен среднесрочный прогноз перехода трех классов технологий в промышленные стандарты с оценкой риска вендор-зависимости.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование основано на анализе патентных заявок, поданных в ведущие мировые патентные ведомства в период с 1 января 2005 г. по 1 января 2026 г. В выборку вошли документы из ведомства по патентам и товарным знакам США, Европейского патентного ведомства, Всемирной организации интеллектуальной собственности, Японского патентного ведомства, Национального управления интеллектуальной собственностью Китая, а также национальные ведомства других стран. Данные о патентах были собраны с использованием

поискового запроса по ключевому словосочетанию: «параллельная обработка данных». В результате первичного поиска было выявлено 281 385 патентных документов. Анализ включал количественную оценку динамики патентования, географического распределения, активности патентообладателей, а также тематическое кластерирование для выделения ключевых технологических направлений.

В ходе исследования применялись методы машинного обучения: тематическое моделирование на основе TF-IDF, косинусная мера близости и агломеративная кластеризация для выделения технологических векторов. Динамика патентной активности оценивалась с помощью расчета среднегодового темпа прироста и линейного регрессионного анализа.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На рис. 1 представлена диаграмма, отображающая динамику регистрации патентов с 2005 по 2025 г. Анализ временной динамики демонстрирует устойчивый рост патентной активности в области параллельной обработки данных. С 2005 по 2025 г. количество ежегодных публикаций выросло с 5842 до 18 328, что соответствует среднегодовому темпу прироста около 5,9 %. Пик активности пришелся на 2020 г. – 21 836 заявок. Линия тренда на диаграмме имеет линейный возрастающий характер.

Географический анализ (таблица) демонстрирует концентрацию патентной активности в США, а также заметный вклад международных и европейских заявок. Все остальные юрисдикции в совокупности не превышают 2 %, что указывает на лидерство США и Европы в области разработки технологий параллельной обработки данных.

Анализ распределения патентов по заявителям (рис. 2) позволяет выделить несколько групп ключевых игроков. Абсолютным лидером является IBM (46 484 патента), что отражает многолетние инвестиции компании в исследования в области высокопроизводительных вычислений. Microsoft (совокупно 40 269 патентов с учетом двух юридических лиц) занимает доминирующее положение в сегменте программных платформ. Intel (20 934 патента) и Nvidia (5332 патента) формируют аппаратный базис, разрабатывая специализированные процессоры и ускорители. Присутствие AT&T (9249 патентов) и Qualcomm (1930 патентов) свидетельствует о значимости параллельной обработки для телекоммуникационных задач.

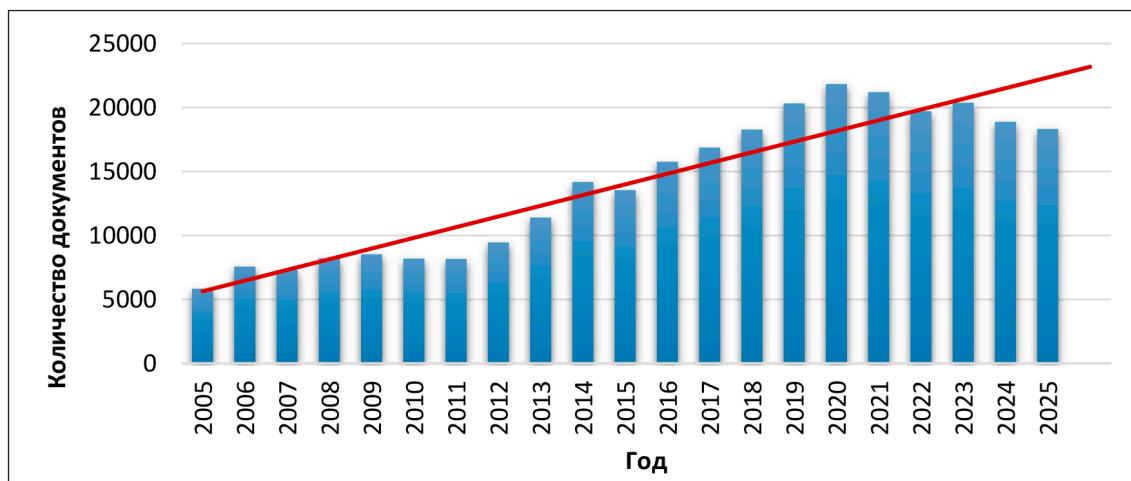


Рис. 1. Динамика регистрации патентов по параллельной обработке данных с 2005 по 2025 г.  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

#### Распределение патентов по ведущим юрисдикциям

Юрисдикция	Количество документов	Доля, %
Ведомство по патентам и товарным знакам США (USPTO)	244 072	82,94
Всемирная организация интеллектуальной собственности (WIPO)	29 405	9,98
Европейское патентное ведомство (EPO)	18 820	6,4
Национальное управление интеллектуальной собственности Китая (CNIPA)	931	0,32
Японское патентное ведомство (JPO)	463	0,16
Прочие	583	0,2

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

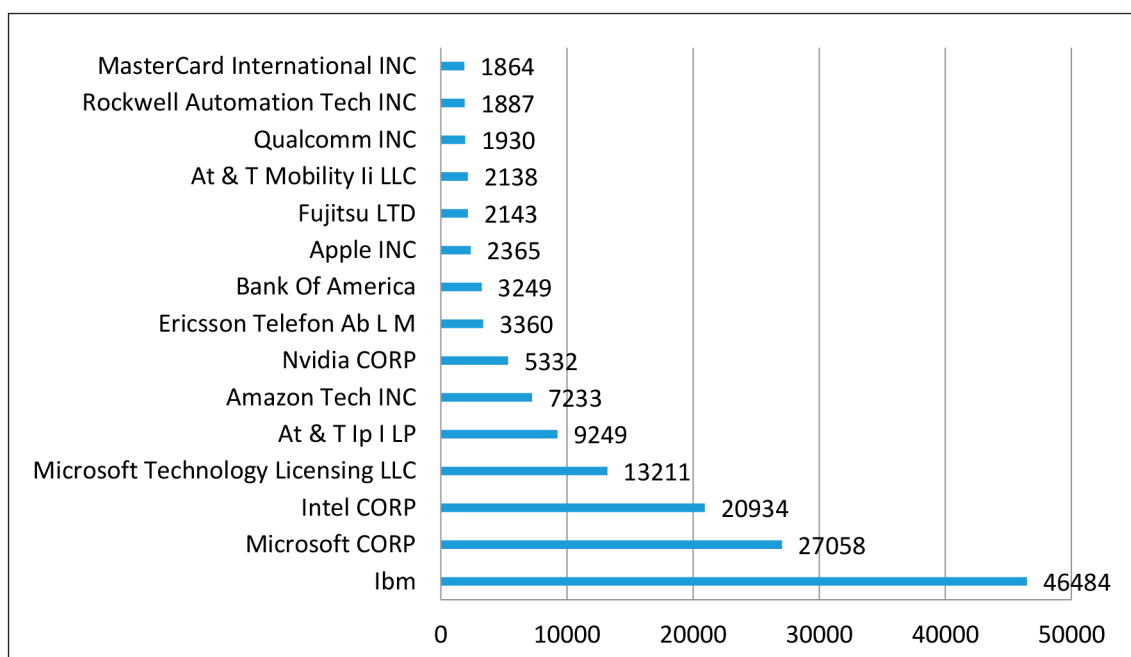


Рис. 2. Крупнейшие патентообладатели в области параллельной обработки данных  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования



Рис. 3. Распределение патентной активности по технологическим векторам  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Патентная активность в тематике параллельной обработки данных оказалась почти монопольной США (82,9 %), тогда как в научных публикациях их доля составляет лишь 38,4 % – разрыв более чем вдвое. Для научного планирования это означает, что патентный и публикационный ландшафты не совпадают и их необходимо анализировать раздельно. Присутствие Bank of America среди лидеров патентования (3249 патентов) – первый количественный сигнал того, что финансовый сектор стал самостоятельным генератором технологий параллельных вычислений. На практике патентный мониторинг должен включать не только ИТ-корпорации, но и компании из сферы финансовых услуг.

На основе тематической кластеризации патентных документов выделены четыре стратегических вектора, определяющих развитие параллельной обработки данных. Распределение патентной активности по векторам представлено на рис. 3.

**Вектор 1.** Оптимизация доступа к памяти и работа с данными.

Данный вектор является доминирующим по объему патентной активности, что отражает фундаментальную проблему современной вычислительной техники – растущее отставание скорости доступа к данным от скорости работы процессоров. Патенты этого вектора направлены на минимизацию задержек при перемещении данных между вычислительными ядрами и подсистемой памяти. Ключевые технологические подходы включают широковещательную передачу данных, при которой единый запрос к памяти обслуживает группу вычислительных ядер вместо множества независимых обращений, что сокращает число запросов с 32 до 8 на примере матричных операций [1, 2]. Процессоры в памяти (PIM), инте-

грирующие вычисления непосредственно в структуру памяти [3], а также предварительную загрузку данных специализированными легковесными ядрами [4].

Лидирующие позиции в этом векторе занимают AMD, Intel, Micron, Apple и Nvidia. Присутствие как производителей чипов, так и специализированных компаний в области памяти подтверждает междисциплинарный характер данного направления. Технологии, разрабатываемые в рамках этого вектора, создают физический фундамент для реализации всех остальных направлений: без эффективного доступа к памяти ни гетерогенные вычисления, ни потоковая обработка не достигнут требуемой производительности.

**Вектор 2.** Поточковая и распределенная обработка больших данных.

Данный вектор охватывает патенты, ориентированные на обработку непрерывных потоков данных в распределенных средах. Доля в 26,76 % отражает растущую потребность в анализе данных в реальном времени, характерную для телекоммуникаций, интернет-торговли, финансового мониторинга и IoT. Ключевые решения включают методы группировки запросов для минимизации межузловых коммуникаций на основе анализа ключей партиционирования [5], специализированные языки запросов для обработки вложенных и последовательных структур данных [6], а также инкрементную обработку, при которой анализируются только изменения между наборами данных без пересчета всего массива [7]. Российские патенты RU 2758583 [8] и RU 2737032 [9] подтверждают востребованность потоковой обработки в прикладных задачах (видеокодирование, телеметрия).

Ведущие патентообладатели – AT&T, Google, IBM, Amazon и eBay, что подтверждает высокую востребованность техноло-

гий потоковой обработки в секторах связи, электронной коммерции и облачных сервисах. Отличительной особенностью данного вектора является его ярко выраженная прикладная направленность: патенты здесь нередко создаются не производителями оборудования, а компаниями-операторами, решающими конкретные бизнес-задачи на миллиардах пользовательских запросов.

**Вектор 3.** Специализированные аппаратные архитектуры.

Данный вектор включает патенты на принципиально новые вычислительные архитектуры, ориентированные на решение специфических классов задач. Ключевые подходы включают аппаратные ускорители для параллельной обработки сетевых функций с динамическим преобразованием последовательных цепочек в гибридные [10, 11]. Другой подход – переупорядочивание данных для SIMD-обработки непосредственно в сетевом интерфейсе, что снижает нагрузку на центральный процессор [12]. Также предлагаются методы увеличения пропускной способности за счет параллельной передачи данных через несколько интерфейсов, когда вспомогательный ускоритель передает данные целевому устройству через высокоскоростное межсоединение [13], а также интегральные схемы с параллельной обработкой на основе множества тайлов, каждый из которых содержит процессор и коммутатор для передачи данных между тайлами [14]. Аппаратные решения на уровне контроллеров узлов и QPI-пулов представлены в патенте [15].

Лидирующие позиции в этом векторе занимают Intel, AT&T и специализированные компании. Характерной особенностью является длительный цикл внедрения: многие запатентованные технологии опережают текущие возможности массового производства. Патентная активность в этом векторе отражает стратегическое патентование перспективных направлений, которые могут стать стандартом через 5–7 лет.

**Вектор 4.** Управление задачами и синхронизация в параллельных системах.

Данный вектор фокусируется на фундаментальных проблемах координации параллельно выполняемых задач: управление зависимостями, управление конфликтами параллельных задач, синхронизация доступа к разделяемым ресурсам. Относительно скромная доля в 17,47 % объясняется тем, что многие решения в этой области стали стандартными и патентуются не как самостоятельные изобретения, а в составе более крупных систем (векторы 2 и 3). Ключевые подходы включают: аппаратные ускорители для управления зависимостями задач с воз-

можностью переключения на программное управление при нехватке памяти [16]; динамическое планирование потоков с избеганием конфликтов, обеспечивающее ускорение факторного анализа и кластеризации [17]; а также аппаратную поддержку динамического создания микропотоков на основе анализа производительности в реальное время, когда специальная схема управления потоками принимает решение о параллелизации на основе таких метрик, как количество инструкций за цикл и конфликты чтения-записи [18]. Методы хеширования состояний, распараллеливания в логическом и агентно-ориентированном программировании предложены в патентах [19–21].

Ведущие патентообладатели в этом векторе – Arm, AMD, Intel и SAS Institute. Характерной особенностью является сочетание аппаратных решений (специализированные контроллеры зависимостей) и программных методов (алгоритмы планирования). Несмотря на относительно невысокую долю, этот вектор обеспечивает базовую инфраструктуру для всех параллельных систем: без надежной синхронизации и управления зависимостями масштабирование вычислений становится невозможным.

### Заключение

Проведенный патентный анализ подтверждает, что развитие высокопроизводительных вычислений определяется не простым наращиванием числа ядер, а решением фундаментальной проблемы – отставанием скорости доступа к памяти от производительности процессоров. Именно это формирует доминирующий тренд: переход к архитектурам, минимизирующим перемещение данных.

В долгосрочной перспективе успех будет определяться способностью интегрировать гетерогенные вычислительные ресурсы (CPU, GPU, FPGA, NPU) в единые платформы с эффективным управлением памятью. Технологии, которые активно патентуются сегодня, включая процессоры в памяти (PIM), оптические межсоединения и аппаратные ускорители сетевых функций, в ближайшие 5–7 лет могут перейти из разряда экспериментальных в промышленные стандарты. Однако сохраняется риск фрагментации: отсутствие открытых протоколов и доминирование проприетарных решений создают предпосылки для вендор-зависимости, что может замедлить развитие отрасли в долгосрочной перспективе.

### Список литературы

1. Peng L., Yang J., Tang C. Method for matrix data broadcast in parallel processing: пат. US11983560B2; заяв. и патен-

тобл. Advanced Micro Devices, Inc. № 17/571,374; заявл. 07.01.2022; опубл. 14.05.2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/e3/97/b5901b5baeb08f/US11983560.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

2. Suk J. H., Lyuh C.-G. Data generation device for parallel processing: пат. US10725789B2 США; заявитель и патентообладатель Electronics and Telecommunications Research Institute (KR). № 16/154,508; заявл. 08.10.2018; опубл. 28.07.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/cf/d0/ee87e307f1c862/US10725789.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

3. Crawford I. L. Searching data in parallel using processor-in-memory devices: пат. US10489060B2 США / заяв. и патентообл. Micron Technology, Inc № 15/849,381; заявл. 20.12.2017; опубл. 26.11.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/77/eb/62/0f0da370e34a82/US10489060.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

4. Jayasena N. S., O'Connor J. M., Mantor M. Prefetch kernels on data-parallel processors: пат. US11500778B2 США / заявитель и патентообладатель Advanced Micro Devices, Inc. № 16/813,075; заявл. 09.03.2020; опубл. 15.11.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3d/10/db/7d2cde469fe9bd/US11500778.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

5. Viel E., Ueda H. Parallel data stream processing method, parallel data stream processing system, and storage medium: пат. US10459921B2 США. № 14/943,050; заявл. 17.11.2015; опубл. 29.10.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/f1/11/cc757a0b99162a/US10459921.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

6. Singh G., Chiu C.-H., Sundaresan N. Parallel data stream processing system: пат. US11789955B2 США / заявитель и патентообладатель eBay Inc. № 15/783,914; заявл. 13.10.2017; опубл. 17.10.2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/34/c1/0d/a08991c17a5792/US11789955.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

7. Bradshaw R., Chambers C. D., et al. Incremental parallel processing of data: пат. US10628212B2 США / заявитель и патентообладатель Google LLC. № 16/030,282; заявл. 09.07.2018; опубл. 21.04.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/ce/3a/4350e03c335844/US10628212.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

8. Окава К. Устройство кодирования изображения, способ кодирования изображения, устройство декодирования изображения, способ декодирования изображения и программа: пат. RU2758583C1. Опубл. 29.10.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/4f/87/ac/862120f8cab5da/RU2758583C1.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

9. Гонг Д. К. Системы и способы параллельной и масштабируемой обработки телеметрических данных от подключаемых раздаточных машин: пат. RU2737032C2. Опубл. 24.11.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d7/4b/d2/5509fbbc7a3190/RU2737032C2.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

10. Han B., Gopalakrishnan V., Anwer M. B., et al. Controlling parallel data processing for service function chains: пат. US11502910B2 США. № 17/065,820; заявл. 08.10.2020; опубл. 15.11.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f2/d4/bb/9158a2983a4ac9/US11502910.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

11. Han B., Gopalakrishnan V., Anwer M. B., Zhang Z.-L., Zhang Y. Controlling parallel data processing for service function chains: пат. US11979290B2 США. № 17/986,423; заявл. 14.11.2022; опубл. 07.05.2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/bc/91/69/32422db01f38a9/US11979290.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

12. Kantecki et al. Reordering of data for parallel processing: пат. US11050682B2 США / заявитель и патентообладатель Intel Corp. № 17/361,760; заявл. 29.06.2021; опубл. 29.06.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/5a/ba/8c3eb16271fa9b/US11050682.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

13. Rahman et al. Parallel data transfer to increase bandwidth for accelerated processing devices: пат. US10672095B2 США / заявитель и патентообладатель Advanced Micro Devices, Inc. № 16/177,514; заявл. 31.10.2018; опубл. 02.06.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0a/b4/ca/9a759a4538328d/US10672095.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

14. Agarwal A. Transferring data in a parallel processing environment: пат. US10747712B1 США. № 12/070,120; заявл. 25.02.2008; опубл. 18.08.2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/36/a5/af/70982d864eb5a8/US10747712.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

15. Цао Л., Чэнь Б., Лю Г. Способ управления процессором и многопроцессорной системой: пат. RU2658884C1. Опубл. 25.06.2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cf/30/33/93546b674ac2c5/RU2658884C1.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

16. Тан X. et al. Method of managing task dependencies at runtime in a parallel computing system of a hardware processing system and a hardware acceleration processor: пат. US11436048B2 США. № 15/607,520; заявл. 29.05.2017; опубл. 06.09.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/15/6b/76/15fb601aa6518c/US11436048.pdf> (дата обращения: 13.05.2026).

17. Thompson W. C., Yung Y.-F. Parallel process scheduling for efficient data access: пат. US10289447B1 / заявитель и патентообладатель SAS Institute Inc. № 16/221,752; заявл. 17.12.2018; опубл. 14.05.2019. 30 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ec/9a/e9/8071a5d5b50110/US10289447B1.pdf> (дата обращения: 03.05.2026).

18. Zaidi S. A. M., Gabrielli G. In-core parallelization in a data processing apparatus and method: пат. US12229565B2 / заяв. и патентообл. Arm Limited. № 18/042,845; заявл. 26.08.2021; опубл. 18.02.2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1c/02/ee/0e2978a8bf37e9/US12229565.pdf> (дата обращения: 13.05.2026).

19. Хиллмэн Р., Вилльямсон Г. Система, способ и устройство для коррекции ошибки в мультипроцессорных системах: пат. RU2577465C2. Опубл. 20.03.2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/29/55/6c/65af0d708bb676/RU2577465C2.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).

20. Малов А. В. Способ распараллеливания программ в среде логического программирования в вычислительной системе: пат. RU2691860C1. Опубл. 18.06.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/22/bd/6e/0e8ce7ede133af/RU2691860C1.pdf> (дата обращения: 06.05.2026).

21. Малов А. В. Способ распараллеливания программ в среде агентно-ориентированного программирования в вычислительной системе: пат. RU2704533C1. Опубл. 29.10.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/13/3c/e9/9fa8ded6968185/RU2704533C1.pdf> (дата обращения: 06.05.2026).

**Конфликт интересов:** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The author declares that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

**Financing:** The research was performed without external funding.