

УДК (004.272)

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-24-34

EDN: BZOEVI

Научная статья

Анализ ограничений мобильных сетей и потенциала распределенных вычислений на смартфонах

Ф. И. Исаев✉, Г. Н. Исаева

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31

Аннотация. Актуальность настоящего исследования обусловлена экспоненциальным ростом мобильного трафика данных и фундаментальными ограничениями современных мобильных сетей, делающими традиционные централизованные подходы к обработке информации малоэффективными.

Цель исследования – комплексный анализ ограничений современных мобильных сетей в контексте передачи больших объемов данных и оценка возможности компенсации этих ограничений за счет распределенных вычислений на мобильных устройствах, включая исследование влияния термального троттлинга на производительность смартфонов в условиях длительной вычислительной нагрузки.

Методы. Используются экспериментальные измерения скорости передачи данных, синтетические тесты производительности, стресс-тесты для анализа троттлинга и сравнительный анализ мобильных и стационарных систем.

Результаты. В работе представлен комплексный анализ реальной производительности сетей 4G, 3G и 2G, выявивший критические проблемы: нестабильность соединения (колебания скорости в 4G от 10–15 Мбит/с с провалами до 5 Мбит/с), высокие задержки передачи и катастрофическое падение пропускной способности в сетях предыдущих поколений. Экспериментальные данные демонстрируют, что передача файла объемом 2 ГБ в оптимальных условиях 4G занимает 20 минут, тогда как в 3G этот показатель достигает 2 часов, а в 2G становится практически не реализуемой задачей. В качестве альтернативного подхода исследуется концепция распределенных вычислений на мобильных устройствах. Проведенные сравнительные тесты производительности между флагманскими смартфонами (Samsung Galaxy S24) и стационарными системами выявили, что при однопоточных вычислениях разрыв составляет лишь 15 %, однако ключевым ограничивающим фактором выступает термальный троттлинг, приводящий к потере 45–50 % производительности уже через 12–18 минут интенсивной нагрузки.

Выводы. Полученные результаты обосновывают принципиальную возможность создания эффективных распределенных вычислительных систем на базе кластеров мобильных устройств, однако указывают на необходимость разработки специализированных алгоритмов балансировки нагрузки и управления тепловыми режимами, что определяет направления дальнейших исследований в данной области.

Ключевые слова: мобильные сети, распределенные вычисления, пропускная способность, троттлинг, производительность смартфонов, обработка данных

Поступила 27.06.2025, одобрена после рецензирования 16.07.2025, принята к публикации 25.07.2025

Для цитирования. Исаев Ф. И., Исаева Г. Н. Анализ ограничений мобильных сетей и потенциала распределенных вычислений на смартфонах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 4. С. 24–34. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-24-34

Analysis of limited mobile networks and the potential of distributed mobile computing

F.I. Isaev[✉], G.N. Isaeva

National Research Nuclear University MEPhI
(Moscow Engineering Physics Institute),
115409, Russia, Moscow, 31 Kashirskoe shosse

Abstract. The relevance of this study stems from the exponential mobile growth and the fundamental limitations of modern mobile networks, which make traditional centralized approaches to information processing inefficient.

Aim. The paper analyses the disadvantages of modern mobile networks when transmitting large-scale data and an assessment for possible compensation of limitations through distributed mobile computing, including a study of the impact of thermal throttling on smartphone performance under long-term computing load.

Methods. Experimental performance analysis for data transfer rates, synthetic performance tests, stress tests for throttling analysis, and a comparative analysis of mobile and stationary systems are used.

Results. A comprehensive real performance analysis disclosed key challenges in 4G, 3G, and 2G networks such as: connection instability (speed fluctuations in 4G from 10–15 Mbit/s with dips up to 5 Mbit/s), high transmission delays, and a catastrophic drop in throughput in previous-generation networks. Experimental data demonstrate that transferring a 2 GB file under optimal 4G conditions takes 20 minutes, while in 3G this figure reaches 2 hours, and in 2G it becomes a virtually impossible task. As an alternative approach, we explore distributed mobile computing for the devices. Comparative performance tests between flagship smartphones (Samsung Galaxy S24) and stationary systems revealed that with single-threaded computing the gap is only 15 %, but the key limiting factor is thermal throttling, which reduces the device's performance by 45–50% after 12–18 minutes of intensive load.

Conclusions. The obtained results confirm the theoretical possibility of creating efficient distributed mobile computing systems based on clusters, but point to the necessity for advanced load balancing algorithm and thermal management determining the potential avenues for future study.

Keywords: mobile networks, distributed computing, bandwidth, throttling, smartphone performance, data processing

Submitted 27.06.2025,

approved after reviewing 16.07.2025,

accepted for publication 25.07.2025

For citation. Isaev F.I., Isaeva G.N. Analysis of limited mobile networks and the potential of distributed mobile computing. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 4. Pp. 24–34. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-4-24-34

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе функционирование мобильных информационных систем сопряжено с необходимостью преодоления трудностей, обусловленных постоянно возрастающим объемом формируемых данных. Как отмечает аналитическая служба Cisco, в

течение 2024 года глобальный объем мобильного трафика достиг значения, превышающего 90 зеттабайт¹. Несмотря на заметный прогресс в области технологий беспроводной связи передача значительных массивов информации через мобильные каналы сталкивается с рядом принципиальных ограничений, снижающих эффективность устоявшихся централизованных моделей, предполагающих отправку данных на удаленные серверы для последующей обработки.

Ограниченность пропускной способности мобильных сетей, особенно в периоды интенсивного использования, выступает одной из важнейших технических проблем. Текущие стандарты подвижной связи далеко не всегда обеспечивают устойчивую передачу информации: перегрузка базовых узлов, наличие радиопомех, неравномерность покрытия территории и конкуренция между абонентами серьезно затрудняют обмен данными [1]. В отдаленных локациях, где пользователи ограничены только в доступе к сетям третьего или второго поколения, ситуация приобретает еще более выраженный характер: задержки нарастают, а скорость передачи падает до уровня, не позволяющего организовать надежный поток информации. Наряду с этим высокая вероятность потери пакетов при передаче значительных объемов данных приводит к необходимости включения механизмов дублирования, что влечет за собой рост задержек и дополнительный расход энергетических ресурсов устройств.

С учетом обозначенных факторов становится очевидной актуальность разработки альтернативных методов обработки информации, снижающих степень зависимости от параметров мобильной связи. Одним из таких направлений выступает модель децентрализованных вычислений, при которой обработка выполняется непосредственно на мобильных устройствах. Такой подход дает возможность существенно разгрузить сеть и минимизировать задержки. В работах [2, 3] приводится пример подобной системы. Однако практическая реализация данного подхода опирается на технические характеристики самих устройств: производительность, устойчивость к длительным вычислительным процессам и способность функционировать в условиях ограниченного энергопитания становятся определяющими параметрами эффективности.

Цель исследования – комплексный анализ ограничений современных мобильных сетей в контексте передачи больших объемов данных и оценка возможности компенсации этих ограничений за счет распределенных вычислений на мобильных устройствах, включая исследование влияния термального троттлинга на производительность смартфонов в условиях длительной вычислительной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Прежде чем переходить к практической части, следует провести анализ ключевых характеристик мобильных сетей, включая их фактическую пропускную способность и устойчивость при передаче информации. С этой целью были реализованы испытательные процедуры с использованием конкретной конфигурации оборудования (табл. 1). Смартфоны, подключенные к сетям стандартов 4G, 3G и 2G, работали в городских условиях с высокоэтажной застройкой в дневное время суток.

¹Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, [Электронный ресурс] / Cisco Inc. – URL: <https://www.cisco.com/site/us/en/solutions/annual-internet-report/index.html> (дата обращения: 06.07.2025).

Таблица 1. Характеристики исследуемых устройств**Table 1.** Specifications of the devices being studied

Модель	SoC (чипсет)	Процессор	Число логических ядер	Тактовая частота (ГГц)
Samsung S24	Exynos 2400	ARM 1×Cortex-X4, ARM 2×A720 ARM 3×A720, ARM 4×A520	8	3,2×2,9×2,6×2,0
Samsung A52	Snapdragon 720G	ARM 4×Cortex-A73, ARM 4×Cortex-A53	8	2,4×1,8

В рамках первого тестового сценария производился замер скорости входящего трафика с помощью клиентского приложения, взаимодействующего с сервером измерения производительности, принадлежащим платформе Ookla². Суть метода заключалась в поочередной загрузке набора изображений различного объема, при этом использовался многопоточный режим (четыре параллельных потока), что позволяло приблизить реальную пропускную способность к теоретическим значениям, максимально загружая канал. Для каждого передаваемого блока данных (от 50 до 300 КБ) регистрировалась текущая скорость, и далее показатели визуализировались в виде графической зависимости.

Во втором эксперименте была произведена оценка исходящей скорости передачи данных. В качестве тестовой платформы использовался локально развернутый сервер, доступ к которому обеспечивался с помощью туннелирования через сервис ngrok, что позволило смоделировать доступ из внешней сети. Передача осуществлялась в однопоточном режиме, а в качестве тестового файла был выбран объект объемом 100 МБ. Такой подход имитирует стандартный сценарий отправки необработанных массивов данных – будь то мультимедийные файлы либо дата-сеты – с учетом дополнительных накладных расходов на маршрутизацию и потенциальных ограничений сетевой инфраструктуры³.

Для оценки вычислительных возможностей мобильных и стационарных систем применяются синтетические тесты. Одним из базовых показателей считается FLOPS (Floating Point Operations Per Second) – число операций с плавающей точкой в секунду, отражающее теоретическую производительность устройства. Этот параметр критически важен для систем, решающих научные, инженерные и численные задачи, где требуется высокая точность. FLOPS точнее, чем целочисленные операции, показывает способность оборудования справляться с ресурсоемкими задачами – от моделирования уравнений до обработки сигналов и машинного обучения.

Дополнительно используются кроссплатформенные бенчмарки, такие как Geekbench и 3DMark. Первый оценивает реальные задачи – от сжатия и рендеринга до анализа текста и изображений – в одно- и многоядерных режимах, давая итоговую метрику для сравнения ARM и x86. Второй – 3DMark – ориентирован на графику: он проверяет работу API

²Ookla Speedtest Methodology [Электронный ресурс] / Ookla. – URL: <https://www.ookla.com/resources/guides/speedtest-methodology> (дата обращения: 20.06.2025).

³Ngrok Documentation [Электронный ресурс] / ngrok Inc. – URL: <https://ngrok.github.io/ngrok-python/> (дата обращения: 28.06.2025).

(DirectX 12, Vulkan), рендеринг 3D-сцен и вычисляет итоговый балл, отражающий уровень графической производительности⁴.

Для исследования производительности в контексте мобильных систем был разработан собственный синтетический тест, основанный на принципах Linpack [4], но адаптированный под ARMv8-архитектуру. В тесте генерируются пул случайных матриц и вектор с помощью библиотеки jBLAS, которая позволяет задействовать нативные оптимизации, такие как инструкции NEON для ARM-процессоров⁵. Далее на каждом потоке параллельно решается система линейных уравнений:

$$Ax = b, \quad (1)$$

где A – матрица коэффициентов, x – вектор неизвестных, b – вектор свободных членов.

Для решения системы применяется LU -разложение, количество операций с плавающей точкой для матрицы размерности $n \times n$ оценивается как:

$$N_{ops} = \frac{2}{3}n^3 \quad (2)$$

Производительность вычислений определяется по следующей формуле:

$$FLOPS = \frac{N_{ops}}{T}, \quad (3)$$

где T – время выполнения вычислений.

Следует учитывать, что одним из главных факторов, ограничивающих стабильную работу мобильных устройств в режиме высокой нагрузки, выступает явление троттлинга – преднамеренное снижение производительности процессора и графического чипа для предотвращения перегрева и экономии энергии [5]. Конструктивные ограничения смартфонов, не предполагающих наличие активного охлаждения (например, вентиляторов, применяемых в ПК и серверах), обуславливают высокую чувствительность к тепловым перегрузкам. Механизм троттлинга управляется через технологию динамической настройки частоты и напряжения – Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS). Как только температура кристалла, отслеживаемая встроенными датчиками, превышает установленный предел (обычно в интервале 50–70°C), система снижает тактовую частоту и уменьшает питающее напряжение [6]. Это позволяет снизить тепловыделение, хотя и сопровождается падением производительности, предотвращая тем самым риск выхода из строя элементов.

Кроме тепловых ограничений, существенное влияние оказывает уровень доступной энергии. В современных мобильных устройствах применяются литий-ионные аккумуляторы, обладающие ограниченной емкостью. При интенсивных вычислениях, особенно в условиях быстрой разрядки, система может автоматически ограничивать производительность, чтобы продлить срок автономной работы. Это реализуется также через DVFS и может сопровождаться снижением активности фоновых процессов, отключением второстепенных сервисов и применением иных энергосберегающих стратегий.

⁴Geekbench 6 Technical Overview [Электронный ресурс] / Primate Labs. – URL: <https://www.geekbench.com/doc/geekbench6-technical-overview.pdf> (дата обращения: 20.03.2025)

⁵jBLAS: Fast Linear Algebra for Java [Электронный ресурс] / M. Püschel, F. Franchetti. – URL: <https://jblas.org/> (дата обращения: 21.03.2025).

В последние годы ведущие производители мобильных устройств уделяют значительное внимание совершенствованию механизмов терморегуляции, стремясь достичь устойчивого баланса между пиковой производительностью и эффективным энергопотреблением. В частности, в конструкции современных смартфонов стали активно применяться пассивные охлаждающие решения, включая тепловые трубки и многослойные материалы на основе графена. В моделях флагманского уровня, выпущенных в 2024–2025 годах, таких как Samsung Galaxy S24 и Xiaomi 14, используется более прогрессивный элемент – испарительная камера, за счет увеличенной площади теплового рассеивания обеспечивающая прирост эффективности охлаждения на 30–50% по сравнению с обычными трубками [7].

Дополнительно в архитектуре новейших мобильных процессоров реализован гибридный подход к распределению вычислительной нагрузки. Высокопроизводительные ядра, например, Cortex-X4, функционируют совместно с энергоэкономичными, такими как Cortex-A520, благодаря чему удается продлить интервал поддержания максимальной вычислительной мощности до момента активации троттлинга [8]. Подобное архитектурное решение позволяет распределять задачи между ядрами в зависимости от интенсивности вычислений, что существенно повышает общую устойчивость устройства при продолжительной нагрузке.

С целью эмпирической оценки влияния троттлинга на эксплуатационные параметры мобильных систем было организовано сравнительное тестирование двух устройств, относящихся к разным ценовым категориям: Samsung Galaxy S24 как представитель флагманского сегмента и модель Samsung Galaxy A52, позиционируемая в среднем классе. Проведение эксперимента включало использование стресс-нагрузки, равномерно активирующей все доступные ядра центрального процессора на протяжении 20 минут. В ходе испытания каждые 10 секунд фиксировалось текущее значение тактовой частоты в мегагерцах, что позволило получить последовательные срезы динамики изменения производительности.

На основе полученных измерений можно построить кривую деградации частоты под действием троттлинга и сопоставить, насколько эффективно справляются с тепловыми и энергетическими ограничениями разные аппаратные платформы. Подобный анализ предоставляет количественную базу для оценки применимости устройств в составе распределенных вычислительных систем, где устойчивость производительности в условиях длительных нагрузок становится критическим параметром.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Интерпретация результатов, представленных на рис. 1, позволяет отметить, что при моделировании сценария с загрузкой через сервер Ookla наблюдаются достаточно устойчивые показатели скорости для стандарта 4G – значения удерживаются в пределах 35–40 Мбит/с с быстрым выходом к верхней границе. Для технологий 3G и 2G, напротив, динамика отличается выраженной задержкой: фиксируется интервал в 5 секунд до достижения устойчивого значения, которое составляет около 6–8 Мбит/с и 50–150 Кбит/с соответственно. Такой результат указывает на увеличенную латентность и более вялую реакцию канала на инициализацию передачи. В то же время данные подобного рода тестов не дают строго точного значения пропускной способности, а, скорее, очерчивают ее возможные пределы.

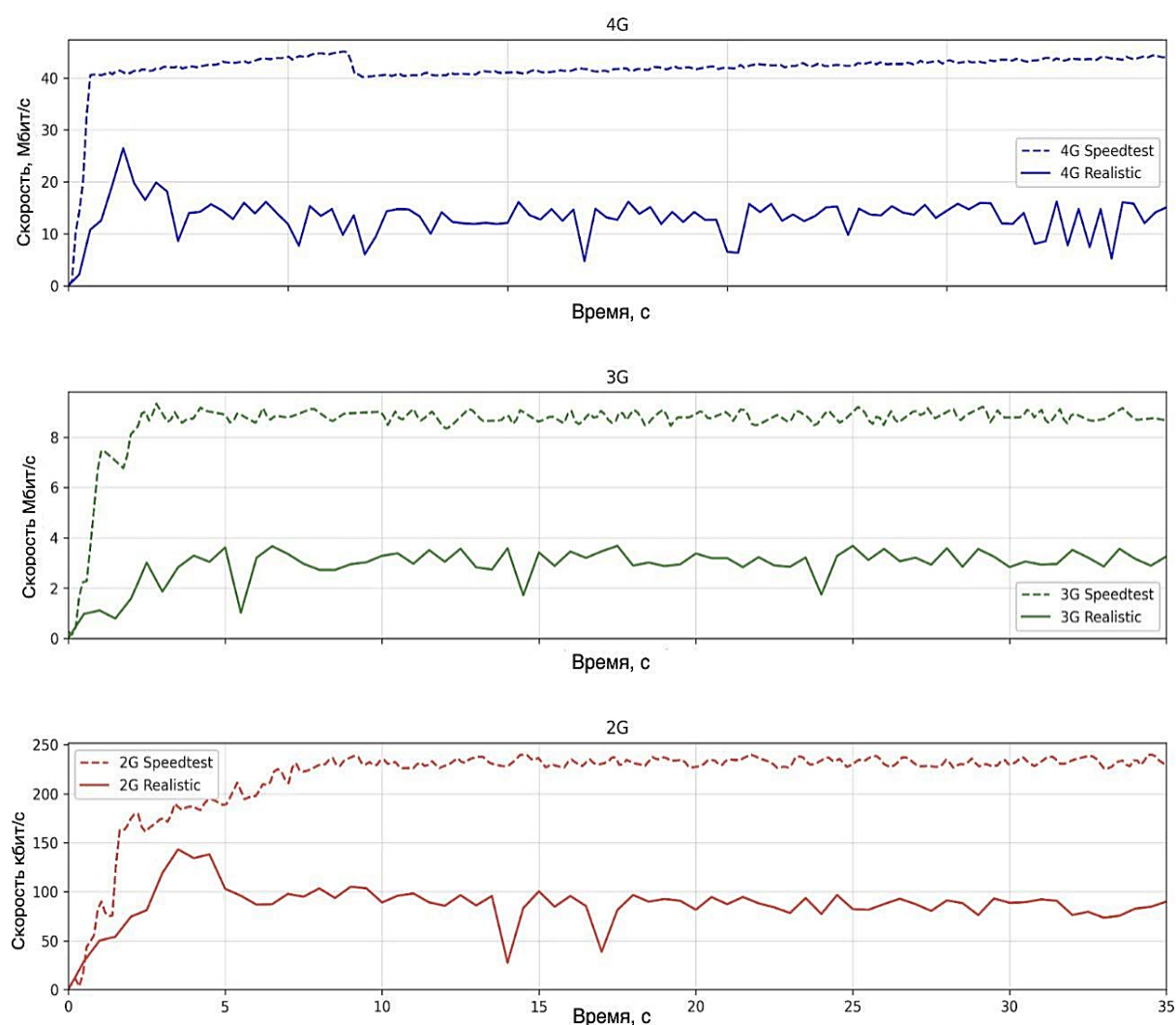


Рис. 1. График тестовой загрузки (пунктирная линия) и отправки данных (сплошная линия)

Fig. 1. Graph of test download (dotted line) and data sending (solid line)

Из анализа графической визуализации на рисунке 1 также становится очевидно, что в реальных условиях 4G-сеть демонстрирует определенную нестабильность: скорость колеблется в диапазоне от 10 до 15 Мбит/с, периодически снижаясь до отметок в 5 Мбит/с. Эти просадки указывают на перегрузку сети, а также на задержки, вызванные потерей пакетов и последующим их повторным запросом. Что касается 3G, то здесь наблюдается существенное снижение фактической скорости до интервала 1–5 Мбит/с с отдельными провалами до минимума в 1 Мбит/с – это отражает слабую устойчивость к интерференции и ограниченность каналов. В случае с 2G значения находятся в диапазоне 50–150 Кбит/с, что делает полноценную передачу данных практически не применимой в рамках современных требований к скорости и объему информационного обмена.

В дополнение к предыдущим экспериментам был произведен расчет временных затрат на загрузку и отправку файла объемом 2 ГБ в условиях использования сетей 4G, 3G и 2G. Основой для расчета послужили усредненные показатели фактической скорости передачи, зафиксированные на этапе предыдущих испытаний. Сводные данные визуализированы в виде гистограммы (рис. 2). Согласно расчетам даже при наличии устойчивого соединения с 4G-сетью минимально возможное время передачи указанного объема

информации превышает 20 минут, тогда как в условиях ухудшенного качества соединения, характерного для старых стандартов связи, предельное значение достигает 152 часов, что отражает критическую непригодность подобных каналов для актуальных задач, связанных с большими данными.

Графическое представление результатов ясно демонстрирует ограничения мобильных сетей в реальных условиях. Резкий разрыв между теоретической и фактической пропускной способностью, нестабильность соединений и особенно низкие скорости передачи в 3G и 2G делают отправку больших объемов данных на сервер крайне неэффективной. Эти ограничения акцентируют необходимость снижения зависимости от сетевых каналов, что возможно за счет локальной обработки информации на стороне клиента.

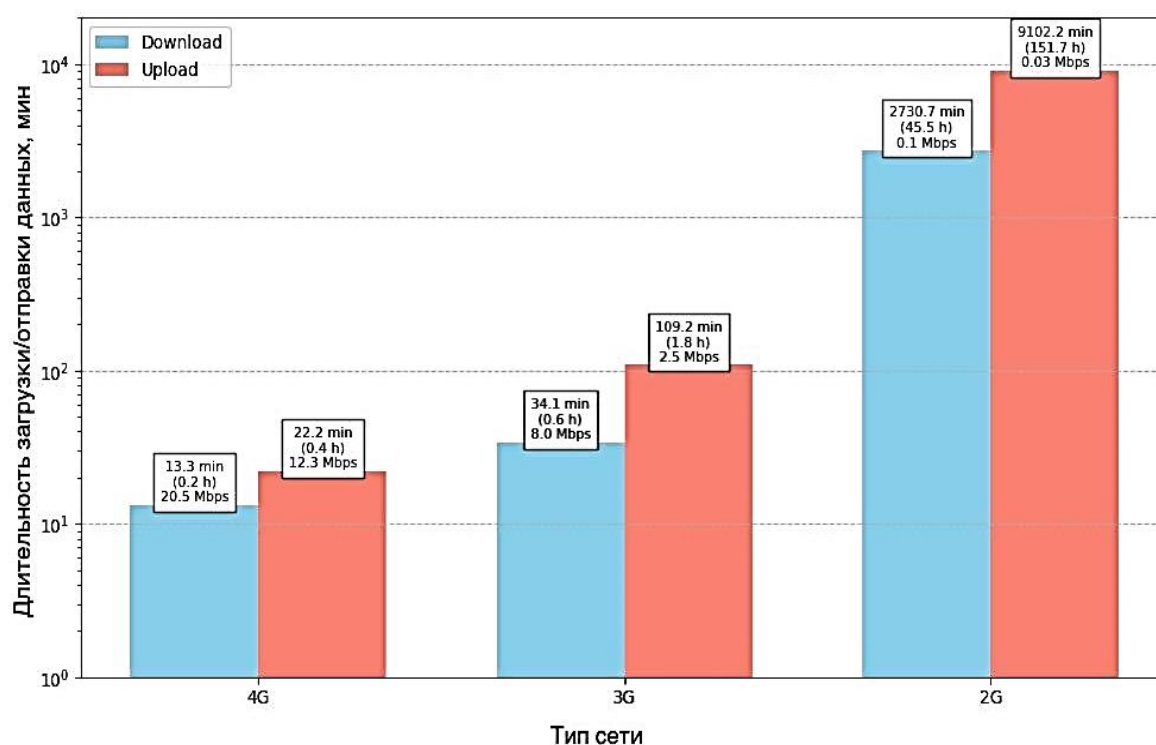


Рис. 2. Гистограмма времени загрузки и выгрузки файла размером 2 ГБ в сетях 4G, 3G и 2G

Fig. 2. Histogram of download and upload times for a 2GB file in 4G, 3G and 2G networks

Тем не менее, чтобы обосновать жизнеспособность данного подхода, важно не только учитывать слабые стороны каналов связи, но и сопоставлять вычислительный потенциал мобильных устройств с возможностями традиционных систем. Такой анализ позволяет оценить, насколько смартфоны способны эффективно выполнять задачи обработки данных, действуя в условиях ограниченных ресурсов, и оправдывает ли перенос вычислений на потенциальные издержки клиента, связанные с сетевой передачей.

С этой целью был проведен синтетический тест, включающий устройства из разных классов. На рисунке 3 представлены результаты сравнительного анализа трех платформ: Samsung A52 (Snapdragon 720G, Adreno 618), флагманский Samsung S24 (Exynos 2400, Xclipse 940) и профессиональная рабочая станция с процессором Core i7-13700H и графическим ускорителем NVIDIA GeForce RTX 4060. Измерения охватывали CPU FLOPS, показатели 3DMark для GPU, а также результаты Geekbench 6 в одно- и многоядерном режимах.

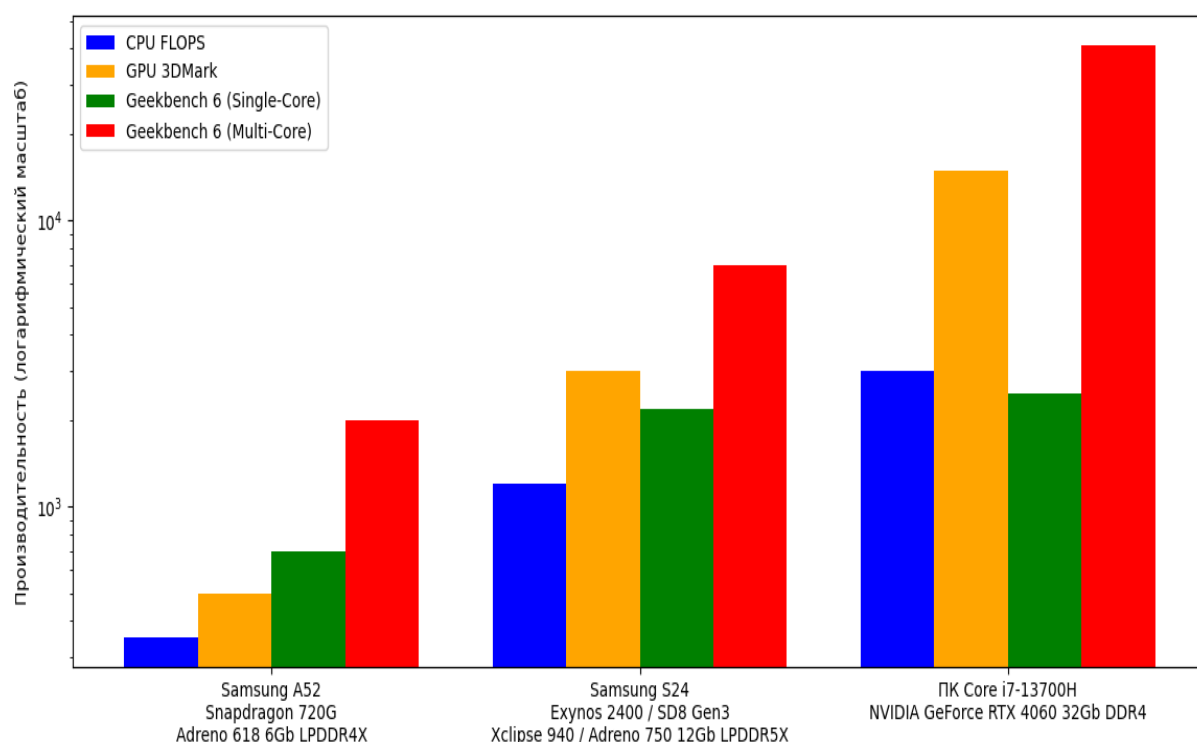


Рис. 3. Гистограмма производительности в синтетических тестах

Fig. 3. Histogram of performance in synthetic tests

Анализ графиков подтверждает, что стационарная система закономерно демонстрирует наивысшие значения по всем тестам. Теоретическая производительность в FLOPS у нее почти вдвое выше, чем у Samsung S24, а результаты GPU 3DMark и многоядерного Geekbench 6 превосходят смартфон на порядок. Однако в одноядерном режиме разрыв составляет лишь около 15 %, что указывает на схожую эффективность при выполнении последовательных операций, не требующих параллельности. Примечательно и то, что устройство среднего класса, такое как Samsung A52, достигая 350 GFLOPS, уже способно решать вычислительные задачи, ранее доступные только настольным системам.

Таким образом, несмотря на существенное отставание смартфонов по абсолютной мощности, объединение их в распределенную сеть позволяет добиться сравнимого уровня производительности. Это открывает возможность снижения зависимости от каналов связи за счет локального выполнения вычислений [9]. Вместе с тем такая архитектура сопряжена с рядом специфических ограничений, обусловленных мобильной природой устройств. В частности, в распределенной среде, где смартфоны участвуют в обработке сложных задач, троттлинг способен существенно подорвать стабильность и эффективность при длительной нагрузке (рис. 4).

На основе графиков (рис. 4) видно, что Samsung Galaxy S24 демонстрирует лучшую устойчивость к троттлингу по сравнению с Galaxy A52, что связано с более продвинутым процессором и эффективным охлаждением. Тем не менее, даже у флагмана производительность снижается почти на 45 % после 18 минут нагрузки. Устройство среднего уровня теряет около 50 % уже к 12-й минуте. Эти результаты подтверждают: троттлинг остается серьезным ограничением, особенно в условиях длительной загрузки, характерной для распределенных вычислений.

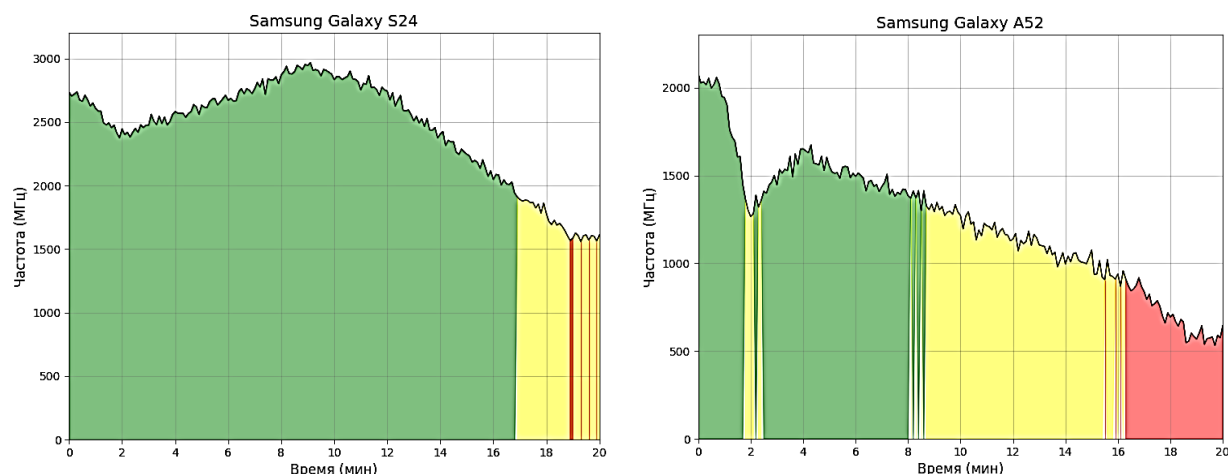


Рис. 4. Троттлинг-тест Samsung Galaxy S24 и Galaxy A52

Fig. 4. Throttling test for Samsung Galaxy S24 and Galaxy A52

При проектировании систем на базе мобильных устройств критически важна сбалансированная нагрузка. Каждый узел кластера должен получать объем задач, соответствующий его возможностям, избегая перегрева. Оптимизация может быть достигнута с использованием Android Sustained Performance API, позволяющего поддерживать стабильную работу в пределах «зеленой» зоны производительности⁶. Этому аспекту будет посвящен отдельный этап последующих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что мобильные сети малопригодны для передачи больших объемов данных, что снижает эффективность централизованных подходов. Вместе с тем современные смартфоны обладают достаточным вычислительным потенциалом для локальной обработки, но их возможности сдерживаются троттлингом. Это подчеркивает необходимость разработки децентрализованной архитектуры с балансировкой нагрузки, устойчивой к сетевым ограничениям и росту объемов информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гайдамака Ю. В., Самуйлов А. К. Метод расчета характеристик интерференции двух взаимодействующих устройств в беспроводной гетерогенной сети // Информатика и ее применение. 2015. Т. 9. № 1. С. 9–14. DOI: 10.14357/19922264150102

Gaidamaka Yu.V., Samuilov A.K. Method for calculating intercharacteristics of two interacting devices in a wireless heterogeneous network. *Informatics and its application*. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 9–14. DOI: 10.14357/19922264150102. (In Russian)

2. Kurochkin I., Dolgov A., Manzyuk M., Vatutin E. Using mobile devices in a voluntary distributed computing project to solve combinatorial problems. *Supercomputing: 7th Russian Supercomputing Days, RuSCDays 2021*, Moscow, Russia, September 27–28, 2021, Revised Selected Papers 7. Springer International Publishing, 2021. Pp. 525–537. DOI: 10.1007/978-3-030-92864-3_40

⁶Android Sustained Performance API Documentation [Электронный ресурс] / Google Inc. – URL: <https://developer.android.com/reference/android/os/PowerManager> (дата обращения: 23.06.2025).

3. Acosta A., Almeida F. The particle filter algorithm: parallel implementations and performance analysis over Android mobile devices. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 2016. Vol. 28. No. 3. Pp. 788–801.
4. Dongarra J.J., Luszczek P., Petit A. The LINPACK Benchmark: past, present, and future. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 2003. Vol. 15. No. 9. Pp. 803–820.
5. Liu S., Karanth A. Dynamic voltage and frequency scaling to improve energy-efficiency of hardware accelerators. *2021 IEEE 28th International Conference on High Performance Computing, Data, and Analytics (HiPC)*. 2021. Pp. 6–9.
6. Kurhade A.S., Siraskar G.D., Enhancing smartphone circuit cooling: a computational study of pcm integration. *Journal of Advanced Research in Numerical Heat Transfer*. 2024. Vol. 27. No. 1. Pp. 132–145.
7. Benoit-Cattin T., Velasco-Montero D., Fernández-Berni J. Impact of thermal throttling on long-term visual inference in a CPU-based edge device. *Electronics*. 2020. Vol. 9. No. 12. P. 6.
8. Bantock J.R.B., Al-Hashimi B.M., Merrett G.V. Mitigating interactive performance degradation from mobile device thermal throttling. *IEEE Embedded Systems Letters*. 2021. Vol. 13. No. 1. Pp. 1–4.
9. Salem H. Distributed computing system on a smartphones-based network. *Software Technology: Methods and Tools: 51st International Conference*. Springer International Publishing, 2019. Pp. 313–325

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Исаев Федор Игоревич, аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31;

alekseylent@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7308-1381>, SPIN-код: 3403-5209

Исаева Галина Николаевна, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0371-5972>, SPIN-код: 7809-5680

Information about the authors

Fedor I. Isaev, Postgraduate Student, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute);

115409, Russia, Moscow, 31 Kashirskoe shosse;

alekseylent@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7308-1381>, SPIN-code: 3403-5209

Galina N. Isaeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute);

115409, Russia, Moscow, 31 Kashirskoe shosse;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0371-5972>, SPIN-code: 7809-5680