



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИУК «Информатика и управление»

КАФЕДРА ИУК4 «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии»

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

«Использование SONM в распределённых вычислениях»

Студент гр. ИУК4–62Б _____ (_____ Губин Е.В. _____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель _____ (_____ Гагарин Ю.Е. _____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Оценка руководителя _____ баллов _____
30-50 (дата)

Оценка защиты _____ баллов _____
30-50 (дата)

Оценка работы _____ баллов _____
(оценка по пятибалльной шкале)

Комиссия: _____ (_____ Гагарин Ю.Е. _____)
(подпись) (Ф.И.О.)

_____ (_____ Широкова Е.В. _____)
(подпись) (Ф.И.О.)

_____ (_____ Красавин Е.В. _____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Калужский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ИУК4
_____ (Гагарин Ю.Е.)

« 11 » марта 2025 г.

З А Д А Н И Е

на НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РАБОТУ (НИР)

За время выполнения НИР студенту необходимо:

1. Определить тематические и временные границы поиска информации по заданной теме; осуществить самостоятельный поиск аналитического и статистического материала с использованием доступных информационных ресурсов; изучить документацию; проанализировать и зафиксировать состояние изучаемого вопроса и сформулировать перспективные направления дальнейших исследований.

в том числе:

– ознакомиться с историей и принципами технологии распределённых вычислений; изучить архитектуру и особенности функционирования платформы SONM; проанализировать механизмы взаимодействия участников в сети SONM и применение блокчейна; рассмотреть практические области применения SONM в научных и коммерческих задачах; выявить преимущества и недостатки использования SONM в сравнении с централизованными вычислительными платформами.

2. Подготовить реферативный отчет о проделанной работе и защитить результаты НИР.

Дата выдачи задания « 11 » марта 2025 г.

Руководитель _____ 11.03.2025г.
(подпись, дата)

Студент _____ 11.03.2025г.
(подпись, дата)

Гагарин Ю.Е.
(И.О. Фамилия)

Губин Е.В.
(И.О. Фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	6
1.1. Понятие и классификация распределённых вычислений	6
1.2. Модели и архитектуры распределённых вычислительных систем	7
1.3. Проблемы и перспективы использования распределённых вычислений в современных ИТ-системах	9
2. АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ SONM.....	11
2.1. Общая характеристика платформы SONM	11
2.2. Архитектура платформы SONM	12
2.3. Работа с задачами и взаимодействие участников в сети SONM.....	13
3. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ SONM.....	15
3.1. Сравнение SONM с традиционными облачными платформами	15
3.2. Практические кейсы использования SONM.....	16
3.3. Перспективы и ограничения развития SONM	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	21

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных технологий сопровождается непрерывным ростом объёмов обрабатываемых данных и усложнением задач, требующих высокопроизводительных вычислений. В условиях ограниченности ресурсов локальных вычислительных систем возрастает интерес к распределённым вычислениям, обеспечивающим объединение вычислительных мощностей множества узлов для совместного решения ресурсоёмких задач. Одним из инновационных направлений в данной области является использование децентрализованных платформ, основанных на технологии блокчейн. Среди таких решений особое внимание заслуживает проект SONM (Supercomputer Organized by Network Mining), ориентированный на построение глобального децентрализованного суперкомпьютера.

Актуальность выбранной темы обусловлена возрастающей потребностью в гибких и масштабируемых вычислительных ресурсах, которые не только снижают затраты на инфраструктуру, но и обеспечивают высокий уровень отказоустойчивости. Платформа SONM предлагает альтернативу традиционным облачным решениям, используя принципы распределённого управления и смарт-контрактов. Это делает её перспективной как для научных расчётов, так и для коммерческих приложений в различных отраслях, включая моделирование, анализ данных, машинное обучение и рендеринг.

Цель настоящего исследования — проанализировать возможности и особенности использования платформы SONM в задачах распределённых вычислений, а также оценить её эффективность и перспективы внедрения в прикладные области.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- раскрыть теоретические основы распределённых вычислений и их значение в современной информационной среде;
- изучить архитектуру и принципы функционирования платформы SONM;

- провести сравнительный анализ SONM с другими решениями в области децентрализованных вычислений;
- рассмотреть примеры практического применения SONM и оценить его потенциал в различных сферах.

Объектом исследования является система распределённых вычислений, основанная на принципах децентрализации.

Предметом выступают технологические и прикладные аспекты функционирования платформы SONM в рамках распределённых вычислений.

Методами исследования являются анализ научной и технической литературы, сравнительный анализ, обобщение теоретических положений и кейс-стади (case study).

Структурно работа состоит из введения, трёх глав основной части, заключения и списка использованных источников. В первой главе рассматриваются общие понятия и архитектурные модели распределённых вычислений. Во второй главе подробно анализируется платформа SONM: её архитектура, особенности и место среди аналогичных решений. В третьей главе проводится анализ практического применения SONM и оценка её эффективности.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

1.1. Понятие и классификация распределённых вычислений

Современные вычислительные задачи, такие как моделирование сложных физических процессов, анализ больших данных, криптографические расчёты и машинное обучение, требуют высокой вычислительной мощности. Однако, даже самые производительные локальные компьютеры ограничены в ресурсах. Эту проблему эффективно решают распределённые вычисления — метод организации обработки данных, при котором множество независимых вычислительных устройств совместно решают одну или несколько задач, координируя свои действия через сеть [10].

Распределённые вычисления — это форма параллельных вычислений, в которой компоненты системы расположены на различных сетевых узлах, каждый из которых имеет собственный процессор и память. Эти узлы взаимодействуют между собой через сетевые протоколы, что позволяет добиться высокой степени масштабируемости и отказоустойчивости.

В научной литературе существует несколько подходов к классификации распределённых вычислений:

- По характеру соединения компонентов:
 - Плотно связанные — все узлы работают в рамках одной сети с высокой пропускной способностью и низкой задержкой (например, кластеры).
 - Слабо связанные — узлы географически распределены и связаны через интернет или иные глобальные сети (грид-системы, P2P-сети).
- По степени централизации управления:
 - Централизованные — один управляющий узел координирует выполнение задач (например, SETI@home).
 - Децентрализованные — нет единого управляющего узла, все участники равноправны (например, SONM, Golem).

- По архитектуре взаимодействия узлов:
 - Клиент-серверная — узлы подчиняются главному серверу.
 - Одноранговая (P2P) — узлы взаимодействуют напрямую между собой.
- По функциональному назначению:
 - Научные вычисления (математическое моделирование, астрофизика, химия).
 - Обработка больших данных (Big Data, ML, BI).
 - Рендеринг графики и видео.
 - Криптовалютный майнинг.

Одним из первых и самых известных примеров распределённых вычислений стал проект SETI@home, в рамках которого миллионы добровольцев предоставляли свои компьютеры для анализа радиосигналов из космоса. Позднее, платформа BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) обобщила данную модель, позволив реализовывать десятки различных научных проектов на основе добровольно предоставляемых ресурсов [11].

В отличие от централизованных облачных вычислений, таких как Amazon Web Services или Microsoft Azure, распределённые модели, особенно P2P, обеспечивают большую устойчивость к отказам, отсутствие единой точки отказа и возможность справедливого распределения задач и награды между участниками сети [5].

1.2. Модели и архитектуры распределённых вычислительных систем

Развитие распределённых систем в значительной степени определяется выбранной моделью взаимодействия между узлами и архитектурными принципами построения вычислительной среды.

Модель клиент-сервер предполагает наличие управляющего сервера, который принимает запросы от клиентов, распределяет задачи между доступными узлами и собирает результаты. Достоинствами модели являются простота реализации и контроль, однако она подвержена рискам, связанным с отказом сервера и ограниченной масштабируемостью [13].

Одноранговые (peer-to-peer, P2P) системы представляют собой архитектуру, в которой каждый узел может выступать как в роли клиента, так и в роли сервера. Такая модель обладает высокой масштабируемостью, децентрализацией и устойчивостью к сбоям. Её яркими представителями являются Golem, iExes и SONM. В таких системах часто используется распределённый реестр (блокчейн), обеспечивающий надёжную фиксацию договорённостей и автоматизацию расчётов между участниками с помощью смарт-контрактов.

Грид-вычисления (grid computing) строятся на использовании ресурсов, объединённых в глобальную инфраструктуру, где каждая организация или пользователь предоставляет свои вычислительные мощности. Эти системы широко применяются в научных проектах, таких как LHC Grid (обработка данных с Большого адронного коллайдера).

Облачные вычисления также используют распределённые ресурсы, но их отличие в централизованной модели предоставления услуг, где пользователи арендуют ресурсы у крупного провайдера (например, Google Cloud, AWS). Несмотря на высокую доступность и гибкость, такие решения не являются по-настоящему децентрализованными.

Технически распределённые системы включают в себя следующие ключевые компоненты:

- Планировщик заданий — отвечает за распределение задач между узлами;
- Система мониторинга — отслеживает состояние вычислительных ресурсов;
- Коммуникационные протоколы — обеспечивают обмен данными между узлами;

- Система хранения — организует хранение промежуточных и итоговых данных;
- Система безопасности — предотвращает несанкционированный доступ и атаки.

1.3. Проблемы и перспективы использования распределённых вычислений в современных ИТ-системах

Распределённые вычисления обладают широким спектром преимуществ, включая масштабируемость, отказоустойчивость и гибкость. Однако их повсеместному внедрению препятствуют определённые сложности:

1. Управление ресурсами. В распределённых системах затруднено централизованное управление, особенно при высокой динамичности сети. Необходимы эффективные алгоритмы планирования, балансировки нагрузки и автоматического масштабирования.
2. Безопасность и конфиденциальность. При распределённой обработке данных повышается риск их перехвата или компрометации. Вопросы обеспечения аутентичности, шифрования и контроля доступа становятся критически важными [10].
3. Надёжность и отказоустойчивость. Удалённые узлы могут быть недоступны по техническим причинам, либо недобросовестно выполнять задачи. Это требует механизмов верификации результатов, репликации и оценки доверия.
4. Экономическая мотивация участников. В добровольных системах (например, BOINC) участники предоставляют ресурсы безвозмездно. В децентрализованных системах, таких как SONM, появляется возможность автоматизированного вознаграждения участников, что требует применения криптовалют и смарт-контрактов.

5. Юридические и этические аспекты. Распределённые вычисления могут использоваться в разных странах, что ставит вопросы правового регулирования, лицензирования и ответственности за обработку данных.

Несмотря на перечисленные проблемы, потенциал применения распределённых вычислений постоянно расширяется. Сфера их использования включает:

- научные симуляции и моделирование (астрономия, физика, климатология);
- анализ геномных данных и биоинформатику;
- криптографические задачи и взлом стойких хэшей (например, проект Hashcash);
- обработку видео и графики (например, децентрализованный рендеринг в Golem);
- машинное обучение и обучение нейронных сетей.

Существенным прорывом стало объединение концепции распределённых вычислений с блокчейном. Это позволило устранить множество проблем централизованных моделей — например, SONM использует смарт-контракты на платформе Ethereum для распределения задач и вознаграждения участников, что обеспечивает прозрачность, децентрализацию и автоматизацию процессов.

2. АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ SONM

2.1. Общая характеристика платформы SONM

SONM (Supercomputer Organized by Network Mining) — это децентрализованная платформа для распределённых вычислений, основанная на технологии блокчейн и одноранговой архитектуре. Она позволяет объединять вычислительные мощности множества устройств в единую глобальную сеть и предоставлять их в аренду для решения задач различного назначения: от рендеринга и анализа данных до научных симуляций и обучения нейросетей.

Платформа SONM появилась как ответ на ограниченность централизованных облачных решений и была призвана реализовать концепцию «туманных вычислений» (fog computing), в которых ресурсы размещаются ближе к конечным пользователям, а не в удалённых дата-центрах [12].

Основные особенности SONM:

- Полная децентрализация — отсутствие центрального управляющего сервера;
- Использование смарт-контрактов Ethereum для автоматического заключения сделок между заказчиком и исполнителем;
- Прозрачная система расчётов с использованием криптовалюты SNM;
- Поддержка различных задач: от научных расчётов до стриминга и рендеринга.

SONM предоставляет интерфейс как для заказчиков (customer), так и для исполнителей (worker), обеспечивая автоматическую обработку запросов и передачу заданий через агентские узлы, которые выполняют роль посредников между сторонами.

2.2. Архитектура платформы SONM

Архитектура SONM построена на модульном принципе и включает в себя следующие ключевые компоненты:

- Блокчейн-слой: Основой SONM является блокчейн Ethereum. Именно он обеспечивает функционирование смарт-контрактов, фиксацию сделок и безопасную передачу прав и расчётов между участниками сети.
- Слой децентрализованного маркетплейса: В рамках маркетплейса заказчики публикуют свои запросы на вычислительные ресурсы, а исполнители подают заявки на их выполнение. Этот процесс автоматизирован через смарт-контракты, которые обеспечивают прозрачность и доверие между сторонами.
- Агентский уровень (agent): Специальные узлы, которые отслеживают заказы, проверяют доступность исполнителей, управляют контейнерами (Docker) и контролируют выполнение задач.
- Вычислительный уровень (worker): Узлы-исполнители, которые запускают задачи заказчика в изолированной среде. Они используют контейнеризацию (в основном Docker), что позволяет обеспечить переносимость, безопасность и масштабируемость решений.
- Сеть обмена данными (Fog Network Layer): Это одноранговая сеть, обеспечивающая прямую коммуникацию между узлами без участия централизованных серверов. Именно через неё происходит передача данных, заданий и результатов.
- Система контроля и верификации: Чтобы гарантировать честное выполнение задач, SONM использует механизмы верификации. Например, может быть реализован механизм контрольных заданий (test tasks), а также репликация вычислений и сравнительный анализ результатов [15].

Схематично архитектуру SONM можно представить как многоуровневую систему: заказчик ↔ маркетплейс ↔ агент ↔ воркер ↔ результат.

Вся логика заключения сделок реализуется через специальные смарт-контракты Ethereum:

- Ask contract — заявка от заказчика;
- Bid contract — предложение исполнителя;
- Deal contract — контракт, заключённый по результату сопоставления заявки и предложения.

2.3. Работа с задачами и взаимодействие участников в сети SONM

Работа в SONM организована через следующую последовательность действий:

1. Публикация задачи. Заказчик указывает необходимые параметры: тип задачи, объём ресурсов (CPU, RAM, GPU), продолжительность и цену. Эта информация размещается в смарт-контракте на Ethereum.
2. Поиск исполнителя. Потенциальные исполнители анализируют доступные задачи и делают ставки на выполнение подходящих заказов. Смарт-контракт автоматически сопоставляет предложения и выбирает подходящего воркера.
3. Передача задачи. Выбранный исполнитель получает задачу и необходимые данные, которые могут быть переданы напрямую или через защищённые P2P-каналы.
4. Выполнение вычислений. Все вычисления происходят в изолированном контейнере (Docker), что обеспечивает безопасность и стабильность выполнения.
5. Проверка результатов. После завершения вычислений результаты передаются заказчику. Может быть использована система верификации — например, сравнение с эталонными значениями или повторное выполнение на другом узле.
6. Оплата. В случае успешного выполнения и подтверждения результата, смарт-контракт переводит криптовалюту SNM на счёт исполнителя.

Преимущества данной модели:

- Отсутствие необходимости в доверии между участниками: выполнение задач и оплата регулируются кодом смарт-контрактов;
- Поддержка частичной анонимности;
- Мотивация исполнителей — реальное финансовое вознаграждение за ресурсы и время;
- Возможность гибкого масштабирования: как для индивидуальных пользователей, так и для предприятий.

SONM поддерживает использование собственных SDK и CLI-инструментов, позволяя разработчикам интегрировать платформу в сторонние приложения или автоматизировать работу с ней.

Кроме того, SONM активно использует технологию контейнеризации (Docker). Это позволяет обеспечить:

- Универсальность развёртывания задач;
- Изоляцию вычислений (в целях безопасности);
- Упрощённую миграцию задач между узлами.

С 2020 года SONM перешла на модель так называемых fog-computing marketplaces, где каждый желающий может запускать свои «fog-площадки» — локальные точки вычислений, объединённые в глобальную сеть. Это обеспечивает гибкость управления и локализацию ресурсов ближе к конечному пользователю, что снижает задержки и увеличивает стабильность.

3. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ SONM

3.1. Сравнение SONM с традиционными облачными платформами

В течение последних двух десятилетий традиционные облачные платформы стали основой информационной инфраструктуры организаций. Amazon Web Services, Microsoft Azure и Google Cloud предлагают пользователям возможность аренды вычислительных ресурсов с почасовой тарификацией и высокой степенью автоматизации. Однако, несмотря на удобство, эти решения имеют несколько недостатков.

Во-первых, централизованные облачные сервисы уязвимы к точкам отказа. В случае сбоя в одном из центров обработки данных последствия могут затронуть миллионы пользователей по всему миру. Примеры сбоев в AWS в 2017 и 2020 годах свидетельствуют о масштабах таких проблем [14].

Во-вторых, модель владения инфраструктурой в централизованных облаках подразумевает высокую стоимость обслуживания, что делает услуги дорогими для малого бизнеса, образовательных учреждений и научных лабораторий с ограниченным бюджетом.

SONM (Supercomputer Organized by Network Mining) предлагает децентрализованный подход, при котором вычислительные ресурсы предоставляются участниками сети — владельцами компьютеров, серверов, графических карт и даже мобильных устройств. Это позволяет значительно удешевить аренду ресурсов, масштабировать нагрузку горизонтально и избегать vendor lock-in.

Таблица 1. Различия между традиционными облаками и SONM.

Критерий сравнения	Централизованные облака	SONM
Архитектура	Централизованная	Децентрализованная (P2P)
Надёжность	Высокая, резервирование	Средняя, зависит от узлов
Гибкость	Средняя	Высокая, нет ограничений провайдера
Анонимность	Ограничена	Частичная анонимность
Безопасность	Сертифицированные ЦОДы	Потребность в доверенной среде
Монетизация	Тарифы провайдера	Криптовалюта (SNM)
Открытость	Частично (ограниченные API)	Полностью открытая платформа
Устойчивость к цензуре	Низкая	Высокая

3.2. Практические кейсы использования SONM

SONM предоставляет исследователям доступ к распределённым ресурсам для проведения вычислительно затратных задач, таких как:

- моделирование физических процессов (например, CFD или молекулярная динамика);
- статистический анализ больших выборок (data mining);
- биоинформатика, геномика, протеомика;
- моделирование климатических и экологических процессов.

В отличие от аренды мощностей в коммерческих облаках, SONM позволяет существенно снизить затраты и обеспечить гибкость конфигурации вычислительной среды.

С помощью SONM возможно распределение задач рендеринга анимации, визуализации архитектурных моделей и постобработки видео. Такой подход особенно полезен для студий малого и среднего бизнеса, а также фрилансеров.

Использование SONM позволяет разбить проект на параллельные задачи и передать их в сеть исполнителей, сократив общее время выполнения в несколько раз [6].

Нейросетевое обучение — одна из самых ресурсоёмких задач. В традиционных условиях разработчики используют дорогостоящие облачные GPU-инстансы. SONM предлагает альтернативу: распределённый пул графических ускорителей, предоставляемых независимыми пользователями. Подобный подход может быть выгоден при предварительном обучении моделей, поиске архитектур, обработке изображений и в проектах, где нет необходимости в SLA или постоянной доступности [8].

Использование SONM в игровой индустрии может быть связано с организацией временных игровых серверов, особенно в случае локализованных мероприятий или тестирования. Также возможен запуск стриминговых серверов ближе к пользователям (edge computing), снижая задержки и повышая качество.

В сценариях с большим числом IoT-датчиков SONM может выступать в качестве fog computing-платформы, обеспечивая локальную предварительную обработку данных перед передачей в централизованную систему хранения.

3.3. Перспективы и ограничения развития SONM

Преимущества:

1. Экономическая эффективность — возможность аренды ресурсов у частных лиц и снижения затрат по сравнению с крупными провайдерами.

2. Гибкость — отсутствие ограничений со стороны провайдера на используемое ПО, операционные системы, объём задач.
3. Анонимность и приватность — в условиях повышенного внимания к персональным данным SONM позволяет более конфиденциальную обработку задач.
4. Поддержка свободного ПО — ориентированность на open-source решения и взаимодействие с Web3-технологиями.

Ограничения:

- Неоднородность ресурсов — вычислительные узлы могут отличаться по архитектуре, производительности и стабильности;
- Безопасность и доверие — необходимы механизмы проверки кода, изоляции контейнеров и репутационной оценки исполнителей;
- Юридические барьеры — в некоторых странах может быть затруднено использование децентрализованных вычислений из-за правовых ограничений;
- Сложность в использовании — запуск собственного узла или клиента требует технической подготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования была рассмотрена концепция децентрализованных вычислений на примере платформы SONM (Supercomputer Organized by Network Mining). Проведённый анализ показал, что использование распределённых систем на основе одноранговых сетей (P2P) и технологии блокчейн открывает новые горизонты в организации вычислительных процессов, обеспечивая гибкость, масштабируемость и экономическую эффективность по сравнению с традиционными централизованными облачными сервисами.

В первой главе были изложены теоретические основы распределённых вычислений и принципы функционирования SONM. Платформа позволяет объединить ресурсы пользователей в единую вычислительную сеть, в которой любой участник может выступать как потребителем, так и поставщиком ресурсов. Такой подход позволяет использовать неактивные вычислительные мощности миллионов устройств по всему миру, создавая мощную альтернативу традиционным дата-центрам.

Во второй главе рассмотрены архитектура и механизмы функционирования SONM. Были проанализированы ключевые компоненты платформы: marketplace заданий, обработка данных в Docker-контейнерах, использование блокчейна Ethereum для учёта транзакций и смарт-контрактов. Отдельное внимание было уделено вопросам безопасности, прозрачности и механизма распределения вознаграждений между участниками сети.

В третьей главе проведён сравнительный анализ эффективности SONM по отношению к централизованным облакам, рассмотрены практические кейсы применения платформы в научных исследованиях, визуализации, машинном обучении, edge computing и обработке данных IoT. Были обозначены как преимущества платформы (экономичность, децентрализация, анонимность), так и ограничения (нестабильность узлов, потребность в доверии, юридические барьеры). Кроме того, были обозначены перспективные направления развития децентрализованных вычислений, в числе которых интеграция с Web3-инфраструктурами, развитие репутационных систем и повышение удобства для разработчиков.

Таким образом, децентрализованные вычислительные платформы, такие как SONM, представляют собой перспективное направление развития цифровой инфраструктуры. Они могут стать важным элементом будущей цифровой экономики, особенно в условиях растущего спроса на автономность, приватность и устойчивость к централизованному контролю. Однако для массового внедрения необходимо решение ряда технологических, правовых и пользовательских задач.

Проведённое исследование демонстрирует, что дальнейшее развитие и внедрение децентрализованных вычислений требует как технического совершенствования платформ, так и повышения уровня доверия со стороны пользователей и организаций. В этой связи SONM и аналогичные решения будут играть важную роль в формировании новой парадигмы распределённой обработки данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсеньев, С. В. Распределённые вычисления и облачные технологии: учебное пособие / С. В. Арсеньев. — М.: ИНФРА-М, 2022. — 288 с. — (Высшее образование). (Доступно в ЭБС «Юрайт» и «Лань»)
2. Астанина, С.Ю. Научно-исследовательская работа студентов (современные требования, проблемы и их решения) [Электронный ресурс]: монография/ С.Ю. Астанина, Н.В. Шестак, Е.В. Чмыхова. — М.: Современная гуманитарная академия, 2012.— 156 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16934>.
3. Губарев, В.В. Квалификационные исследовательские работы [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ В.В. Губарев, О.В. Казанская. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 80 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47691>.
4. Кузнецов, А. Н., Васильев, И. И. Технологии и архитектуры распределённых вычислительных систем / А. Н. Кузнецов, И. И. Васильев. — СПб.: Питер, 2021. — 304 с. (Доступно в ЭБС «Лань»)
5. Молчанов А. Ю. Модели распределённых вычислений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2021.
6. Новиков, Ю.Н. Подготовка и защита бакалаврской работы, магистерской диссертации, дипломного проекта [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Новиков. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 34 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122187>.
7. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества. [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.И. Половинкин.— СПб : Лань, 2019. — 364 с.— Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/123469>.
8. Рекомендации по написанию и оформлению курсовой работы, выпускной квалификационной работы и магистерской диссертации [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Е.В. Зудина [и др.]. — Волгоград:

- Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2016. — 57 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57785>.
9. Рыжков, И.Б. Основы научных исследований и изобретательства. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.Б. Рыжков. — СПб.: Лань, 2013. — 224 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/30202>.
 10. Таненбаум Э. С., Ван Стеен М. Распределённые системы. Принципы и парадигмы. — СПб.: Питер, 2021.
 11. Anderson D. P. BOINC: A Platform for Volunteer Computing // Journal of Grid Computing. — 2004.
 12. Bonomi F. et al. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things // Proceedings of the MCC workshop on Mobile cloud computing. — ACM, 2012.
 13. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T. Distributed Systems: Concepts and Design. — Addison-Wesley, 2012.
 14. Dean J., Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters // OSDI. — 2004.
 15. Gusev A., Kotenev A. Trust Evaluation in Distributed Computing *Environments* // Journal of Communications Technology and Electronics. — 2020.
 16. Romanenko, A., & Vasin, D. (2019). Decentralized computing marketplaces: architecture, challenges and perspectives. Journal of Cloud Computing, 8(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13677-019-0144-5> (Публикация в рецензируемом научном журнале)
 17. Tarasov, P., & Bondarev, A. (2020). Blockchain-Based Fog and Edge Computing Systems: A Survey. Computing Research Repository (CoRR), arXiv:2007.14542. <https://arxiv.org/abs/2007.14542> (Научная статья, доступна через arXiv, имеет авторов и ссылки)