

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2026 Issue: 01 Volume: 153

Received: 17.01.2026
Accepted/Published: 30.01.2026 <https://T-Science.org>

Issue

Article



Aleksandra Sergeevna Noskova
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Master's Student
Institute of Computer Science and Cybersecurity

Anatoliy Vasilyevich Sergeev
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Candidate of Engineering Sciences, Docent
Institute of Computer Science and Cybersecurity

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF DOCKER CONTAINERS FOR ARITHMETIC OPERATIONS UNDER MULTITASKING LOAD IN A WINDOWS ENVIRONMENT

Abstract: This article presents a study of the performance of Docker containers when performing arithmetic operations with integers and floating-point numbers, as well as the impact of multitasking on performance compared to a native host in a Windows 10 environment using the WSL2 subsystem. The relevance of the work is due to the widespread use of containerization both in development and in industry for complex technical tasks, as well as the contradictory results of existing Docker performance studies. The aim of the work was a quantitative assessment of the performance degradation when performing operations with integers and real numbers in a multitasking environment on a modern software stack (Docker Desktop 28.0.4, Python 3.13.7). The methodology is based on running Python code that performs arithmetic operations and measures execution time and CPU utilization. The results showed that the host consistently outperforms Docker in terms of performance for single instances. However, with an increase in the number of simultaneously running instances, the performance on the host degrades more significantly than in Docker containers under the same conditions. At the same time, Docker demonstrates higher stability and predictability of results. The obtained data update the results of earlier studies on this issue, highlighting the impact of WSL2 on the final CPU performance.

Key words: Docker, Windows, performance, containerization, WSL2, virtualization, CPU, Python, multitasking.
Language: Russian

Citation: Noskova, A.S., & Sergeev, A.V. (2026). Comparative performance analysis of docker containers for arithmetic operations under multitasking load in a windows environment. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 01 (153), 157-170.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-01-153-18> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2026.01.153.18>
Scopus ASCC: 1700.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ DOCKER ДЛЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ МНОГОЗАДАЧНОЙ НАГРУЗКЕ В СРЕДЕ WINDOWS

Аннотация: В работе представлено исследование производительности Docker-контейнеров при выполнении арифметических операций с вещественными и целыми числами и влияние многопоточности на производительность в сравнении с нативным хостом в среде Windows 10 с использованием подсистемы WSL2. Актуальность работы обусловлена широким использованием контейнеризации как в разработке, так и в промышленности и для сложных технических задач, а также противоречивыми существующими результатами исследований производительности Docker. Целью работы являлась количественная оценка снижения производительности при выполнении операций с целыми и вещественными числами в условиях

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

многозадачности на современном программном стеке (Docker Desktop 28.0.4, Python 3.13.7). Методология основана на запуске кода на Python, выполняющего арифметические операции и измеряющего время выполнения вычислений и использование CPU. Результаты показали, что хост стабильно превосходит Docker по производительности для одиночных экземпляров, при этом при увеличении количества одновременно запускаемых экземпляров производительность на хосте снижается сильнее, чем для тех же условий для контейнеров Docker. При этом Docker демонстрирует более высокую стабильность и предсказуемость результатов. Полученные данные актуализируют результаты более ранних исследований этой проблемы, подчеркивая влияние WSL2 на итоговую производительность CPU-операций.

Ключевые слова: Docker, Windows, производительность, контейнеризация, WSL2, виртуализация, CPU, Python, многозадачность.

Введение

Docker — это открытая платформа для разработки, доставки и более быстрого запуска различных приложений. Docker похож на классические виртуальные машины, но имеет ряд различий: позволяет приложениям запускаться отдельно от инфраструктуры хоста и относиться к инфраструктуре как к управляемому приложению, что гарантирует стабильное окружение, а также позволяет безопасно запускать практически любое приложение в изолированном контейнере [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Docker является легковесным решением, эффективно использует ресурсы и близок к нативной производительности, производительность сравнима с bare-metal [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Интерес к Docker возник с момента его появления и многие работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.] ранее уже показали, что Docker обладает меньшими накладными расходами и более эффективно использует ресурсы в сравнении с другими решениями. В более ранних исследованиях [Ошибка! Источник ссылки не найден.] рассматривалось отличие Docker от виртуальных машин, где были показаны преимущества Docker перед последними.

Более поздние исследования [Ошибка! Источник ссылки не найден.] сравнивают производительность на примере распределенных систем Hadoop и Spark сразу для трех вариантов: bare-metal (нативного хоста), Docker-контейнеров и виртуальных машин (KVM). Результаты этой работы подтверждают, что Docker выигрывает в сравнении с виртуальными машинами, однако также было подчеркнута необходимость включения в анализ результатов запуска на хосте.

В статье [Ошибка! Источник ссылки не найден.] сравнивается Docker с разными ОС, где авторы пришли к выводу, что архитектурные различия приводят к разной производительности: Docker на Linux использует нативные механизмы ядра (namespaces, cgroups), в свою очередь Docker на Windows/Mac использует виртуальную машину (WSL2, HyperKit), что создает накладные расходы и дополнительный виртуальный слой.

Еще одно из фундаментальных исследований было проведено в 2015 году [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В работе авторы показали, что накладные расходы на создание контейнера имеют влияние только для коротких задач (short-lived tasks) — значения замедления могут достигать 65%, в то время как для длительных вычислительных задач (long-running tasks) накладные расходы Docker пренебрежимо малы (замедление всего до 2,4%). Работа проводилась на Linux с использованием более старых версий Docker, следовательно, данные выводы требуют дополнительной проверки с обновленными версиями систем.

Также в другой работе 2024 года [Ошибка! Источник ссылки не найден.] были изучены проблемы при массовом запуске контейнеров: лимиты ядра Linux, нагрузка на CPU и RAM, что приводит к необходимости дополнительного изучения влияния многозадачности при работе с контейнерами.

В настоящее время Docker используется для решения задач разработки, тестирования, развёртывания приложений и оркестрации контейнеров не только в сфере IT, но и в промышленном секторе при работе с серверами. Контейнер позволяют запускать в одной среде разные версии ПО, не опасаясь конфликтов из-за отсутствия зависимостей с системой, что особенно полезно при миграции или обновлении проектов. В статье [Ошибка! Источник ссылки не найден.] рассматриваются такие проекты, подчеркивающие надёжность Docker, как: перенос и обновление базы данных Zabbix (система мониторинга), создание микросервисного приложения с использованием Node.js. Таким образом, Docker в значительной степени упрощает и ускоряет работу разработчиков и администраторов, а также позволяет автоматизировать многие процессы.

По мере усложнения задач (машинное обучение, Big Data и многое другое) Docker продолжает быть актуальным, однако возникают проблемы при оркестрации, распределенных вычислениях и использовании специализированного оборудования (GPU). В статье [Ошибка! Источник ссылки не найден.] рассматривается создание специальных

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

фреймворков на основе Docker, например, таких как DUUI, использующие Kubernetes для оркестрации распределенных GPU-ускоренных вычислений.

Описанные выше исследования подчеркивают усложнение рабочих нагрузок для контейнеров, что дополнительно подтверждает актуальность вопроса о базовой вычислительной эффективности Docker при выполнении CPU-интенсивных операций. Несмотря на большое количество существующих исследований, данные требуют актуализации для новых версий ПО и особенностей работы под управлением ОС Windows с использованием WSL2. В частности, особый интерес вызывают количественные характеристики снижения производительности при выполнении CPU-интенсивных операций с целыми и вещественными числами при многозадачности и для современных стеков (Windows/WSL2, новые версии Docker).

В современных исследованиях производительность CPU в Docker сильно зависят от платформы, типа операции и нагрузки. Так, например, в работе на MacOS и с использованием языка программирования C было выявлено замедление 8-9% при вычислении базовых арифметических операций на одном контейнере. Однако при запуске четырех контейнеров на системе с четырьмя ядрами было выявлено резкое падение производительности (в 2,6-2,8 раз), что подчеркивает проблемы масштабируемости при высокой конкурентной нагрузке [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

В другом исследовании на платформе Windows при использовании Python было отмечено, что операции с целыми числами выполнялись быстрее в Docker, чем на хосте, с другой стороны, вычисления с вещественными числами оставались быстрее на нативном хосте [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Результат этой работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.] сильно контрастирует с выводами другой работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.], также выполняемой на хосте с Windows и с использованием Python и WLS2, где

все типы выполняемых арифметических операций быстрее выполнялись на хосте, при этом замедление в контейнере усиливалось с увеличением числа итераций и при запуске нескольких контейнеров одновременно.

Отдельное внимание стоит уделить другой работе, изучающей влияние на CPU не только арифметических операций (вычисление интеграла), но и операций ввода-вывода (I/O) [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Исследование на Java показало, что для арифметических задач CPU накладные расходы контейнеризации минимальны (около 1,7%), в то время как при использовании задач I/O замедление увеличивается до 26%, что отдельно подчеркивает, что производительность в Docker особенно зависит от вида и характера рабочей нагрузки.

Несмотря на существующие и рассмотренные выше исследования, данные требуют актуализации. Результаты противоречивы при схожих условиях (работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.] и [Ошибка! Источник ссылки не найден.]), что может объясняться как характеристиками хоста, так и версиями и настройками в Docker, WLS2 и типами рабочей нагрузки.

Таким образом, данное исследование посвящено количественной оценке цены абстракции Docker при многозадачности и выполнении интенсивных арифметических операций с целыми и вещественными числами для современных стеков (Windows/WSL2, новые версии Docker).

Методы и материалы

Аппаратно-программная конфигурация

Тестирование проводилось на ноутбуке с конфигурацией, подробно представленной в Табл. 1. В качестве хоста использовалась версия Windows 10 Home и Docker Deckstop с подсистемой WSL2, что характерно для разработки на Windows.

Таблица 1. Конфигурация аппаратно-программного стенда

Компонент	Характеристики
Процессор (CPU)	Intel Core i3-8130U, 2 ядра / 4 потока, 2.20 ГГц
Оперативная память (RAM)	8 ГБ
Основной накопитель (для ОС и ПО)	SSD ADATA SU800, 477 ГБ, SATA III
Операционная система	Windows 10 Домашняя (22H2), 64-разрядная

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Компонент	Характеристики
Виртуализация	Docker Desktop 28.0.4 (бэкенд WSL 2)
Среда выполнения	Python 3.13.7

Методика тестирования

Для тестирования работоспособности хоста и Docker использовался код, написанный на языке программирования Python 3.13.7, основанный по логике решениям из работ [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.], что позволило сравнить результаты работы с существующим ранее решением. Алгоритм работы скрипта следующий:

- Создается массив случайных чисел при помощи функции random (для целых чисел – random.randint(1, 100), для вещественных чисел – random.uniform(1.0, 100.0))

- Замеряется время до начала вычислений: реальное время вычислений (T_start (Wall-Time) с помощью time.time()), время работы процессора (T_cpu_start (CPU-Time) с помощью time.process_time())

- Выполняются интенсивные арифметические операции (по примеру работы [Ошибка! Источник ссылки не найден.]):

$$x = (x + i) * x * 5 * i, \quad (1)$$

где i – текущий элемент массива

- Фиксируется время после выполнения операций: общее время вычислений и время работы процессора (T_end и T_cpu_end соответственно)

- Вычисляется ключевые метрики производительности:

- Wall-Time: реальное время выполнения

$$WallTime = T_{end} - T_{start},$$

- CPU-Time: время, затраченное процессором

$$CPUTime = T_{cpu_end} - T_{cpu_start},$$

- CPU Utilization: процент эффективности использования CPU

$$CPU\ Utilization\ (\%) = \frac{CPUTime}{WallTime} \times 100\%,$$

- Performance: производительность, количество операций в секунду

$$P = \frac{iterations}{WallTime}.$$

Для более корректных результатов расчеты запускались по три раза и находилось среднее значение по формуле.

$$average_performance = \frac{\sum_1^n p_i}{n},$$

где p_i

– производительности каждого из n циклов.

План эксперимента

Для оценки производительности и моделирования многопоточности были реализованы следующие сценарии решения:

- Сценарий 1 (Базовое сравнение):** запуск одного экземпляра программы на нативном хосте и в одном Docker-контейнере. Тестирование выполнялось для целых (int) и вещественных (float) чисел при разном количестве итераций: 1 миллион (1M), 5 миллионов (5M) и 10 миллионов (10M) вычислений.

- Сценарий 2 (Многозадачность):** параллельный запуск 2, 3 и 5 экземпляров программы (на хосте) или контейнеров (в Docker) одновременно, также для разного количества итераций (1M, 5M и 10M). Каждый экземпляр/контейнер запускался в отдельном окне командной строки.

Результаты

Сценарий 1: базовое сравнение

Сводные данные базового сравнения времени и производительности для одного экземпляра представлены в Табл. 2. Разница рассчитывается по формуле относительного прироста в процентах:

$$\text{Разница (\%)} = \left(\frac{\text{Время}_{Host}}{\text{Время}_{Docker}} - 1 \right) \times 100\%. \quad (2)$$

Как видно на Рис 1, время, затраченное на выполнение операций на хосте, вне зависимости от типа данных (int или float) много меньше, чем требуется контейнеру Docker для выполнения тех же операций.

Таблица 2. Сравнительная таблица запуска кода для хоста и Docker для одного экземпляра

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Тест	Кол-во итераций	Хост (сек)	Docker (сек)	Разница (%)	Произв-ть Host (млн оп./сек)	Произв-ть Docker (млн оп./сек)	Эффек-ть CPU хост (%)	Эффек-ть CPU Docker (%)
int 1M	1 000 000	0,31	0,62	101	3,23	1,61	101,14	99,98
int 5M	5 000 000	2,00	2,88	44	2,50	1,74	99,99	100,04
int 10M	10 000 000	3,78	5,85	55	2,64	1,71	100,06	99,99
float 1M	1 000 000	0,30	0,52	74	3,35	1,93	100,01	99,98
float 5M	5 000 000	1,59	2,78	76	3,15	1,80	99,49	100,02
float 10M	10 000 000	3,07	5,46	78	3,25	1,83	99,96	100,01

Как видно из результатов, целые числа вычисляются медленнее, чем вещественные. Это объясняется несколькими причинами:

- В коде есть проверка на переполнение:
 - По формуле (1) значение x быстро растет для целых чисел, для чего при очень больших значениях в коде предусмотрена проверка: если число больше 10^{20} , то происходит деление на 10^{10}
- Разная внутренняя организация в языке программирования Python **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**:

- Int в Python – объект переменной длины, который может считать даже очень большие числа, однако каждый раз новый int создает новый объект в куче, при этом во время арифметически операций создаются временные объекты и выделяется дополнительная память. Каждая операция требует цикл по всем разрядам числа по отдельности.

- Float в Python – фиксированное 64-битное число с плавающей точкой, чаще кэшируется, а также при переполнении аппаратно обрабатываются значения, что не требует дополнительных проверок. При этом операция выполняется одной процессорной инструкцией.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

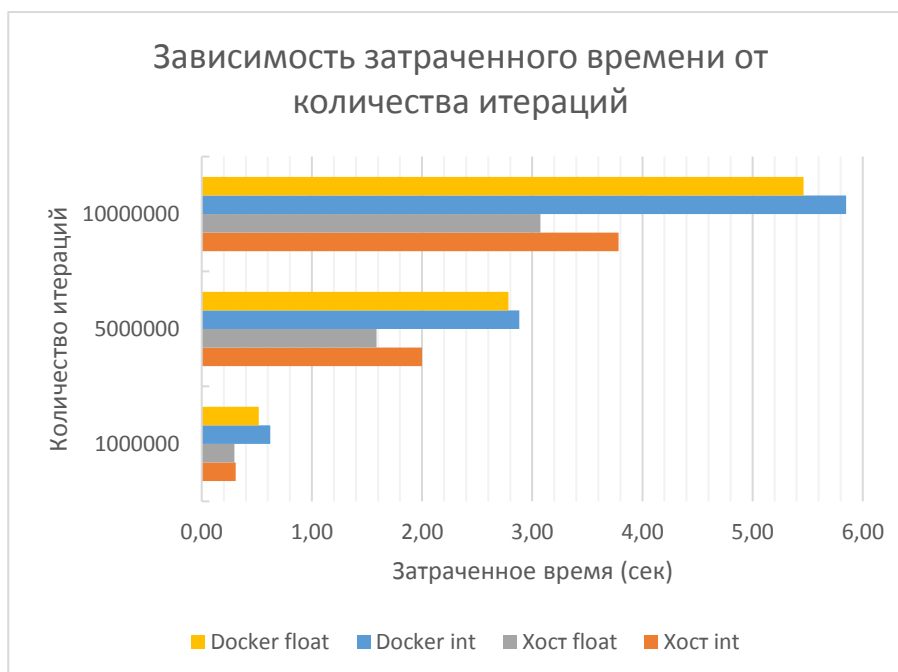


Рисунок 1 - Зависимость затраченного времени от количества итераций для Хоста и Докера для одной запущенной программы одновременно

Хост вычисляет быстрее на 40-80% на всех тестах. Это объясняется путем доступа Docker и хоста к коду:

- Docker: Windows Kernel -> WSL2 (виртуальная машина) -> Linux Kernel -> Docker Engine -> Container -> Python -> Code

- Хост: Windows Kernel -> Python -> Code

Эффективность CPU в обоих случаях близка к 100%, что показывает хорошие характеристики и корректность проведения CPU-интенсивного тест.

При этом Docker даже стабильнее хоста, что можно объяснить нахождением в изолированной среде, отсутствием фоновых вычислений и программ, которые могут работать на хосте во время выполнения вычислений, а также эффективное планирование вычислений в WSL 2.

При малых нагрузках результаты запуска кода показали неустойчивые результаты: при первом запуске значения разности стремятся к 80%, что является большой величиной, учитывая разности для следующих тестов. Это может быть связано с несколькими причинами:

Таблица 3. Сравнительная таблица производительности ХОСТА (3 программы одновременно)

Тест	Ядро 1 (сек)	Ядро 2 (сек)	Ядро 3 (сек)	Произв-ть Ядро 1 (оп./сек)	Произв-ть Ядро 2 (оп./сек)	Произв-ть Ядро 3 (оп./сек)	Средняя произв-ть (млн оп./сек)
int 1M	0,41	0,28	0,37	2,42	3,58	2,68	2,893

- В написанном коде вычисляется Wall Time (time.time()) – микросекундная задержка [Ошибка! Источник ссылки не найден.] и CPU Time (time.process_time()) – наносекундное расширение [Ошибка! Источник ссылки не найден.], из-за чего может возникать погрешность при коротких измерениях.

- Docker и WSL 2 может задавать несколько ядер для расчёта.

Сценарий 2: многопоточность

Далее аналогично были запущены одновременно 2 программы, 3 программы, 5 программ на хосте и также несколько контейнеров одновременно для докера: 2, 3 и 5 контейнеров. При параллельном запуске нескольких экземпляров наблюдалось сильное снижение производительность как на хосте, так и в контейнерах Docker. Результаты для 3 и 5 параллельно запущенных программ на хосте представлены в Табл. 3 и 4 соответственно.

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

int 5M	2,46	1,95	2,42	2,03	2,56	2,07	2,219
int 10M	4,57	4,50	4,45	2,19	2,22	2,25	2,218
float 1M	0,37	0,35	0,38	2,71	2,85	2,67	2,741
float 5M	1,78	2,20	1,75	2,81	2,27	2,86	2,647
float 10M	3,75	4,26	3,98	2,67	2,35	2,52	2,510

Таблица 4. Сравнительная таблица производительности ХОСТА (5 программ одновременно)

Тест	Программа 1 (млн оп./сек)	Программа 2 (млн оп./сек)	Программа 3 (млн оп./сек)	Программа 4 (млн оп./сек)	Программа 5 (млн оп./сек)	Средняя произв-ть (млн оп./сек)
int 1M	1,52	1,61	1,75	2,24	3,94	2,21
int 5M	1,38	1,45	1,33	1,43	1,49	1,42
int 10M	1,28	1,28	1,27	1,27	1,25	1,27
float 1M	1,48	1,43	1,35	1,45	1,24	1,39
float 5M	1,41	1,45	1,57	1,53	1,47	1,49
float 10M	1,87	1,43	1,50	1,47	1,40	1,53

График изменения данных для пяти программ для хоста представлен на Рис. 2, наглядно демонстрируя неравномерность

распределения ресурсов между фоновыми и активными окнами Windows.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

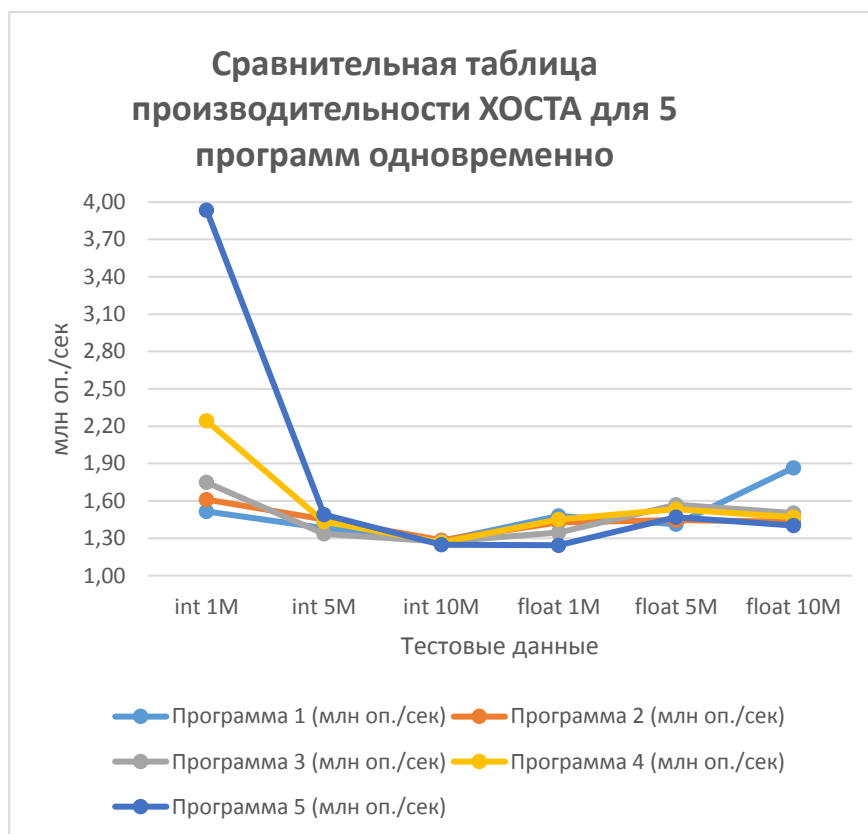


Рисунок 2 - График сравнения производительности ХОСТА для 5 программ одновременно

Можно обратить внимание на то, что для пятого и четвертого программ резко увеличивается скорость вычисления – это связано с тем, что запущенные последними окна на переднем плане получают главный приоритет и процессы этих окон запускаются на выполнение чаще остальных, оставшиеся на заднем плане окна остаются с низким приоритетом: так работает планировщик Windows [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Особенно заметно для первого запущенного окна, значения которого на какое-то время затормозили и перестали выводиться.

Аналогично были изучены результаты для Docker, данные представлены в Табл. 5 (3 контейнера) и Табл. 6 (5 контейнеров).

Также для визуального представления график сравнения результатов для пяти контейнеров для Docker представлен на Рис. 3.

Можно обратить внимание, что при запуске сразу пяти контейнеров для последнего запущенного пятого контейнера значения производительности много выше, чем для всех

остальных – появляется конкуренция для CPU, так как у самого ноутбука всего два ядра. Аналогично ситуации с планировщиком Windows, Docker повысил приоритет для пятого контейнера и выполнил вычисления сначала в нем, а уже после рассчитал остальные контейнеры. Стоит заменить, что после первого теста (int 1M) нагрузка больше распределяется на два последних контейнера, а после третьего теста – значения производительности примерно одинаковые для всех пяти контейнеров.

Таким образом, при 5 CPU-интенсивных процессах возникают частые переключения контекста [Ошибка! Источник ссылки не найден.], что влечёт за собой снижение производительности в целом. Таким образом, это подчёркивает, что контейнеры при запуске их количества больше количества ядер не имеют равный приоритет, однако это распределение зависит от многих факторов и особенностей планировщика [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Таблица 5. Сравнительная таблица для Docker: три контейнера одновременно

Тест	Конт. 1 (млн оп./сек)	Конт. 2 (млн оп./сек)	Конт. 3 (млн оп./сек)	Средняя (млн оп./сек)
int 1M	0,876	0,921	0,916	0,904
int 5M	0,858	0,909	0,915	0,894
int 10M	1,478	1,397	1,386	1,420
float 1M	1,216	1,595	1,523	1,444
float 5M	1,337	1,356	1,309	1,334
float 10M	1,482	1,457	1,363	1,434

Таблица 6. Сравнительная таблица для Docker: пять контейнеров одновременно

Тест	Конт. 1	Конт. 2	Конт. 3	Конт. 4	Конт. 5	Средняя
int 1M	0,824	1,212	1,330	0,893	1,576	1,167
int 5M	0,866	0,892	0,805	0,959	0,951	0,894
int 10M	0,821	0,844	0,829	0,904	0,832	0,846
float 1M	0,843	0,974	0,888	0,881	0,889	0,895
float 5M	0,892	0,893	0,867	0,928	0,891	0,894
float 10M	1,087	1,023	0,974	0,873	0,890	0,970

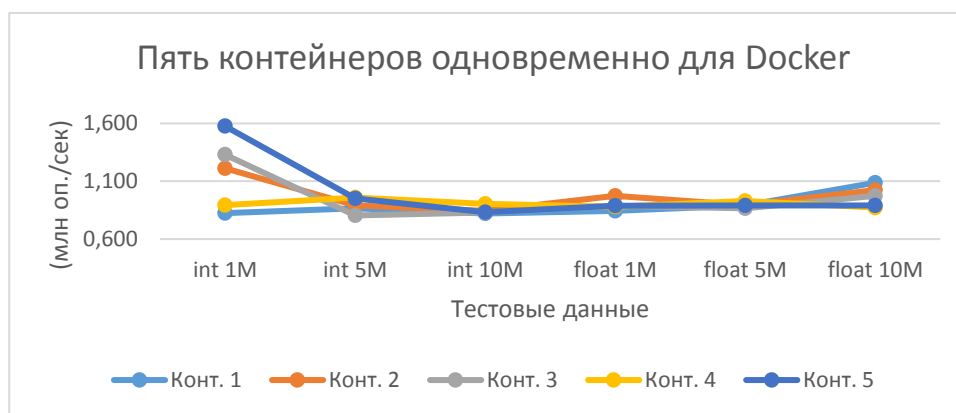


Рисунок 3 - Сравнительный график для пяти контейнеров Docker, запущенных одновременно

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Сводный анализ и сравнение

Сводная таблица, визуализирующая динамики снижения производительности с увеличением многопоточности, представлены в Табл. 7 (для целых чисел) и Табл. 8 (для вещественных чисел).

Хост показывает отличные значения эффективности CPU, потери при контекстных

переключениях (так как ядра всего два, а запускается больше процессов одновременно, хост распределяет нагрузку) заметны, при пяти экземплярах мы получаем резкое снижение производительности относительно изначального запуска одного экземпляра.

Таблица 7. Сводная таблица результатов для Хоста

Количество экземпляров	int (млн оп./сек)	float (млн оп./сек)	Общая средняя (млн оп./сек)	Снижение vs 1 экз.	Эффективность CPU
1 экземпляр	2,88	3,13	3,01	0%	95-100%
2 экземпляра	2,52	3,22	2,87	-4,65%	96-100%
3 экземпляра	2,26	2,74	2,5	-16,90%	98-100%
5 экземпляров	1,27	1,87	1,57	-47,80%	78-88%

Таблица 8. Сводная таблица для Docker

Количество	Средняя int (млн оп./сек)	Средняя float (млн оп./сек)	Общая средняя (млн оп./сек)	Снижение vs изолир.	Эффективность CPU
1 контейнер	1,88	1,64	1,76	0%	99-100%
2 контейнера	1,74	1,72	1,73	-1,50%	99-100%
3 контейнера	1,07	1,40	1,24	-29,60%	81-99%
5 контейнеров	0,97	0,92	0,94	-46,30%	75-88%

Контейнеры Docker в основном полагаются на использование namespaces (изоляция процессов) и cgroups (управление ресурсами) для обеспечения изоляции, что позволяет пользователям изолированно запускать множество приложений в разных контейнерах на одном хосте. Кроме того, благодаря системному

уровню абстракции контейнер может свободно перемещаться между хост-машинами, поддерживающими среду выполнения контейнера [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Как подчеркивалось ранее, Python оптимизирован на быстрые вычисления типа данных float, и это также прослеживается для

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Docker, однако накладные расходы, ограничения и контекстные переключения нивелируют это преимущество типа данных float, из-за чего средняя производительность не сильно отличается от типа данных Int.

Тем не менее, Docker показывает высокую стабильность и неплохую эффективность CPU благодаря изоляции от фоновых и иных других пользовательских процессов и контролю через CFS.

Данные по пяти параллельно запущенным программам/контейнерам для Docker и Хоста были сведены в обобщенные таблицы для наглядной демонстрации различий между запущенными процессами (результаты представлены в Табл. 9 для целых чисел и Табл. 10 для вещественных чисел). Разница рассчитывается по формуле (2).

Таблица 9. Сводная таблица производительности для чисел типа INT для ХОСТА и Docker

Параметр	Хост (млн оп./сек)	Docker (млн оп./сек)	Разница (%)
1 экземпляр	2,88	1,69	-70,41%
2 экземпляра	2,52	1,7	-48,24%
3 экземпляра	2,26	1,07	-111,21%
5 экземпляров	1,27	0,97	-30,93%
Средняя производительность	1,98	1,36	-45,59%

Таблица 10. Сводная таблица производительности для чисел типа float для ХОСТА и Docker

Параметр	Хост (млн оп./сек)	Docker (млн оп./сек)	Разница (%)
1 экземпляр	3,13	1,76	-77,84%
2 экземпляра	3,22	1,81	-77,90%
3 экземпляра	2,74	1,43	-91,61%
5 экземпляров	1,87	0,97	-92,78%
Средняя производительность	2,79	1,49	-87,25%

Для лучшей визуализации данных были построены график сравнения производительности Хоста и контейнеров Docker и представлен на Рис. 4.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Хост всегда **быстрее**: особенно тип float, так как используется аппаратное ускорение (FPU).
- Количество выполняемых операций в секунду на Хосте в разы выше, чем для Docker, что не изменяется с увеличением количества запускаемых процессов.

• Масштабируемость

- Хост: производительность значительно снижается при параллельном запуске программ в количестве, превышающем количество ядер.
- Docker: снижение производительности с ростом нагрузки, также зависящее от количества параллельно запущенных контейнеров и количества ядер хоста.
- Docker имеет более стабильную **нагрузку на CPU**, колебания эффективности более предсказуемы в сравнении с Хостом (скорее всего,

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

связано с фоновыми процессами хоста и их отсутствием в Docker)

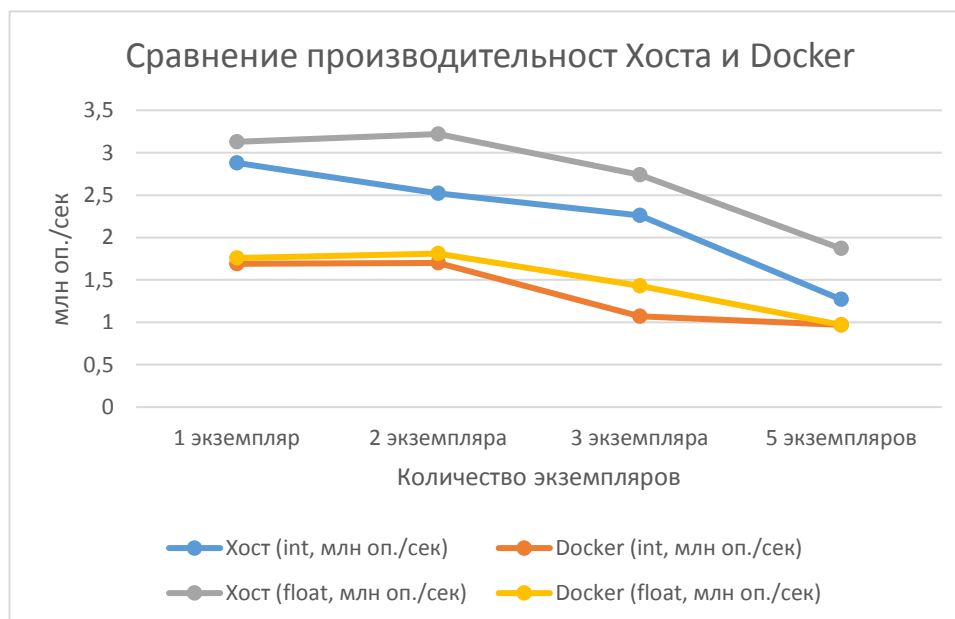


Рисунок 4 - Сравнение средней производительности Хоста и Docker

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют явное отставание производительности контейнеров Docker (WSL2) от нативного хоста Windows при выполнении интенсивных арифметических вычислений. Это согласуется с рассмотренными и изученными в начале работы исследованиями, но противоречит некоторым ранее опубликованным данным.

Как и в более ранних исследованиях [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.] Docker показывает хорошую абстракцию, устойчивость решения и обеспечивает быстрый доступ, показывая докер как эффективное решение.

В работе [Ошибка! Источник ссылки не найден.] авторы подчеркивают, что накладные расходы на создание контейнера имеют больше влияние именно для коротких задач, при этом для длительных они пренебрежимо малы. Результаты данной работы согласуются с выводами авторов этой работы – для более короткой задачи (1M итераций целых чисел) замедление в Docker составило 101%, а для более длительной (10M итераций) – 55% (см. Табл. 2). Однако абсолютные значения в данной работе на порядок выше, что может быть объяснено принципиально разной нагрузкой (арифметические циклы на Python против специальных вычислительных задач [Ошибка! Источник ссылки не найден.]) и дополнительным слоем абстракции WSL2, отсутствующий при запуске Docker на Linux в [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Однако также, помимо накладных расходов на виртуализацию и управление ресурсами, производительность контейнеров зависит от сетевой модели и драйвера [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Авторы этого исследования изучали пропускную способность на примере решения Calico, что позволило прийти к выводу о влиянии всех компонентов стека на производительность контейнеров, включая сеть, однако в данной работе более подробно рассматривается именно оценка вычислительной (CPU) производительности.

Проблемы с многозадачностью и ограничениями количества ядер, рассматриваемые в работе [Ошибка! Источник ссылки не найден.], были подтверждены этим исследованием, когда количество ядер хоста меньше количества одновременно запущенных экземпляров, что приводило к распределению вычислений планировщиками и временной остановке вычислений для некоторых экземпляров.

При сравнении полученных результатов с работами [Ошибка! Источник ссылки не найден.] и [Ошибка! Источник ссылки не найден.] результаты соответствовали последней работе – для всех случаев запуска расчётов производительность хоста была лучше производительности Docker. Таким результаты могут быть связаны с разными версиями Docker Desktop и WSL2, настройкой этих систем, а также различиями в алгоритме бенчмарка.

В исследовании [Ошибка! Источник ссылки не найден.] было показано, что

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

накладные расходы при CPU-операциях на контейнеры минимальны (около 1,7%), что не подтверждается данным исследованием. Это можно объяснить как разным количеством запускаемых контейнеров, языком программирования (работа [Ошибка! Источник ссылки не найден.] на языке Java, в то время как данное исследование на Python), разным видом нагрузки (вычисление интеграла методом трапеции [Ошибка! Источник ссылки не найден.] против больших арифметических циклов) или же могут различаться другие настройки компонентов стека [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

При изучении многозадачности и стабильности было показано падение производительности как на хосте, так и на контейнерах Docker. Однако Docker продемонстрировал большую предсказуемость и лучшую стабильность с меньшим разбросом результатов между контейнерами (см. Табл. 5, 6). Такие результаты объясняются изоляцией контейнеров Docker и работой планировщика CFS в ядре Linux внутри WSL2 [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. На хосте планировщик Windows [Ошибка! Источник ссылки не найден.] отдает приоритет активному окну, что приводит к неравномерности (Рис. 2).

Основными причинами сильно падающей производительности контейнеров в сравнении с хостом, вероятно, являются: множество требуемых слоев контейнеров (Windows Kernel -> WSL2 (виртуальная машина) -> Linux Kernel -> Docker Engine -> Container -> Python Interpreter -> Code) и особенностями языка программирования Python (преимущество вещественных чисел нивелируется накладными расходами контейнеров).

Заключение

В ходе исследования была выполнена количественная оценка снижения производительности при высокой арифметической нагрузке Docker-контейнеров с

использованием WLS2 и сравнение результатов с выполнением тех же операций на хосте Windows 10 Home с учетом многопоточности. Результаты подтвердили, что нативная хост-система превосходит Docker по производительности с учетом использования языка программирования Python, при этом операции с вещественными числами выполняются быстрее как на хосте, так и на Docker – результаты были проверены для разного количества выполняемых итераций и для разного количества запущенных одновременно программ/контейнеров.

Было подтверждено, что с увеличением числа одновременно запущенных экземпляров программ/контейнеров производительность снижается: на хосте падение достигает 47,8%, в Docker — 46,3% при запуске 5 экземпляров. Однако Docker показал большую стабильность и устойчивость благодаря изоляции процессов и работе планировщика CFS.

Данное исследование актуализировало существующие работы, демонстрируя высокое влияние накладных расходов Docker под Windows/WSL2 для CPU-интенсивных задач на Python, что согласуется с информацией из статьи [Ошибка! Источник ссылки не найден.] и подчеркивает важность учета конкретного программного стека при оценке overhead контейнеризации.

Таким образом, было еще раз подтверждено, что арифметические операции с целыми и вещественными числами выполняются быстрее на Хосте, чем в контейнерах Docker, вне зависимости количества итераций и запущенных параллельно программ. Результаты пригодятся разработчикам высоконагруженных Python-приложений, использующих Docker-контейнеры под Windows.

Дальнейшие перспективы исследования включают тестирование тех же вычислений на платформе Linux для исключения WSL2, более подробное изучение влияния разных языков программирования на производительность и нагрузку, а также расширение спектров нагрузок (операции I/O, сетевые взаимодействия).

References:

1. (n.d.). *Docker* (Webpage), Retrieved from <https://docs.docker.com/>
2. Preeth, E. N. (2015). *Evaluation of Docker containers based on hardware utilization* / E. N. Preeth, Fr. Jaison Paul Mulerickal, Biju Paul, Yedhu Sastri. 2015 International Conference on Control Communication & Computing India

(ICCC): proceedings of the conference, Trivandrum, 19-21 November 2015, Piscataway: IEEE, 2015, pp. 697-700, DOI: 10.1109/ICCC.2015.7432984.

3. Ismail, B. I. (2015). *Evaluation of Docker as Edge computing platform* / B. I. Ismail, E. Mostajeran Goortani, M. B. Ab Karim, W. Ming

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- Tat, S. Setapa, J. Y. Luke, O. Hong Hoe. 2015 IEEE Conference on Open Systems (ICOS): proceedings of the conference, Melaka, 24-26 August 2015, Piscataway: IEEE, 2015, pp. 130-135, DOI: 10.1109/ICOS.2015.7377291.
4. Shih, K.-C., et al. (2020). Implementation and evaluation of a container management platform on Docker: Hadoop deployment as an example. *The Journal of Supercomputing*, 2020, Vol. 76, pp. 5754-5778, DOI: 10.1007/s11227-019-03106-y.
 5. Sobieraj, M., & Kotyński, D. (2024). Docker Performance Evaluation across Operating Systems. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, iss. 15. P. 6672. DOI: 10.3390/app14156672.
 6. Di Tommaso P. et al. (2015). The impact of Docker containers on the performance of genomic pipelines. *PeerJ*, 2015, Vol. 3, Art. No. e1273, DOI: 10.7717/peerj.1273.
 7. Pennino D., Pizzonia M. (2024). Toward scalable docker-based emulations of blockchain networks for research and development. *Software: Practice and Experience*, 2024, Vol. 54, iss. 2, P. 275-304, DOI: 10.1002/spe.3293.
 8. Burenkov I. A. (2022). Primenenie virtual'nyh kontejnerov Docker dlja zapuska servisov / I. A. Burenkov. *Litejnoe proizvodstvo i metallurgija*, 2022, № 3 (121), S. 108-111, DOI: 10.21122/1683-6065-2022-3-108-111.
 9. Abrami G. (2024). Docker unified UIMA interface: new perspectives for NLP on big data / G. Abrami, M. Genios, F. Fitzermann, D. Baumartz, A. Mehler. *SoftwareX*, 2024, Vol. 27, Art. No. 101825, DOI: 10.1016/j.softx.2024.101825.
 10. Lapin I. A., Sergeev A. V., Hahina A. M. (2023). Testirovanie skorosti vypolnenija arifmeticheskikh operacij s celymi i dejstvitel'nymi chislami pri vypolnenii vychislenij v kontejnerah Docker i neposredstvenno na hoste. *Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Serija: Estestvennye i tehicheskie nauki*. — 2023. — № 12. — S. 94-98. — DOI: 10.37882/2223-2966.2023.12.20.
 11. Borganova L. I., Sergeev A. S. (2024). Testing the speed of performing arithmetic operations with integers and real numbers in the windows operating system when performing calculations in the Docker container and directly on the host. *ISJ Theoretical & Applied Science*. — 2024. — № 01 (129). — P. 215-223. — DOI: 10.15863/TAS.2024.01.129.16.
 12. Gubeeva A. T., Sergeev A. (2024). Comparing the speed of performing arithmetic operations with integers and real numbers on a windows host and in a docker container. *Theoretical & Applied Science*. — 2024. — № 12 (140). — P. 257-266. — DOI: 10.15863/TAS.2024.12.140.30.
 13. Holodkov D. V., Zinkin S. A. (2024). Vlijanie tehnologij kontejnerizacii prilozhenij na skorost' vypolnenija. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta*. — 2024. — № 4. — S. 134-136.
 14. (2025). Python Documentation - Data Model - URL: Retrieved from <https://docs.python.org/3/reference/datamodel.html> (data obrashhenija: 14.12.2025).
 15. (2025). Python Documentation - 'time': time.time - Retrieved from <https://docs.python.org/3/library/time.html#time.time> (data obrashhenija: 14.12.2025).
 16. (2025). Python Documentation - 'process_time': time.process_time - Retrieved from https://docs.python.org/3/library/time.html#time.process_time (data obrashhenija: 14.12.2025).
 17. (2026). Scheduling Priorities [Jelektronnyj resurs]. Microsoft Learn, URL: Retrieved from <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/procthread/scheduling-priorities> (data obrashhenija: 10.01.2026).
 18. (2025). CFS Scheduler - The Linux Kernel documentation - Retrieved from <https://docs.kernel.org/scheduler/sched-design-CFS.html> (data obrashhenija: 14.12.2025).
 19. (2025). Docker documentation on CPU scheduling - Retrieved from https://docs.docker.com/config/containers/resource_constraints/#cpu (data obrashhenija: 14.12.2025).
 20. (2025). Stat'ja: «Evaluation of Docker Containers for Scientific Workloads in the Cloud» - arXiv:1905.08415v1 [cs.PF] 21 May 2019: Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1905.08415> (data obrashhenija: 14.12.2025).
 21. Zeng H., Wang B., Deng W., Zhang W. (2017). Measurement and Evaluation for Docker Container Networking. 2017 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC). IEEE, 2017. P. 154-161. DOI: 10.1109/CyberC.2017.86.