

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: 2025 Issue: 02 Volume: 142

Published: 28.02.2025 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Aleksei Ivakin
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Bachelor

Anatoliy Sergeev
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Candidate of Engineering Sciences, Docent

PERFORMANCE TESTING OF VIRTUAL MACHINES USING VMWARE FUSION AND ORACLE VIRTUALBOX ON APPLE MACBOOK AIR M2 PLATFORM

Abstract: This article investigates the performance of virtual machines running under VMware Fusion and Oracle VirtualBox hypervisors on the Apple MacBook Air M2 platform with the ARM64 architecture. Comparative tests were conducted to evaluate key performance indicators, such as CPU and RAM, using the PassMark Performance Test for Linux benchmarking tool. Special attention is given to analyzing the performance of hypervisors when increasing the number of simultaneously running virtual machines, allowing for the assessment of their efficiency under RAM deficit conditions. The testing results reveal differences in scalability and resource management, providing recommendations on choosing the optimal hypervisor based on performance requirements and usage scenarios on modern Apple Silicon-based platforms.

Key words: virtualization, VMware Fusion, Oracle VirtualBox, Apple Silicon, macOS, ARM64, hypervisors.

Language: Russian

Citation: Ivakin, A., & Sergeev, A. (2025). Performance testing of virtual machines using VMware Fusion and Oracle VirtualBox on Apple MacBook Air M2 platform. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (142), 107-123.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-02-142-19> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2025.02.142.19>

Scopus ASCC: 1701.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИПЕРВИЗОРОВ VMWARE FUSION И ORACLE VIRTUALBOX НА ПЛАТФОРМЕ APPLE MACBOOK AIR M2

Аннотация: В данной статье исследуется производительность виртуальных машин, работающих под управлением гипервизоров VMware Fusion и Oracle VirtualBox на платформе Apple MacBook Air M2 с архитектурой ARM64. Проведены сравнительные тесты, охватывающие ключевые показатели производительности, такие как CPU и оперативная память, с использованием программы PassMark Performance Test for Linux. Особое внимание уделено анализу работы гипервизоров при увеличении количества одновременно работающих виртуальных машин, что позволяет оценить их эффективность в условиях дефицита оперативной памяти. Результаты тестирования демонстрируют различия в масштабируемости и управлении ресурсами, а также дают рекомендации по выбору гипервизора в зависимости от сценариев использования на современных платформах с процессорами Apple Silicon.

Ключевые слова: виртуализация, VMware Fusion, Oracle VirtualBox, Apple Silicon, macOS, ARM64, гипервизоры.

Введение

Виртуализация является неотъемлемой частью современных вычислительных систем,

обеспечивая более эффективное использование аппаратных ресурсов, гибкость в управлении инфраструктурой и изоляцию программных сред.

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

Гипервизоры, лежащие в основе технологий виртуализации, позволяют запускать несколько виртуальных машин (ВМ) на одном физическом сервере, оптимизируя вычислительные мощности, а также снижая затраты на инфраструктуру [1, 2].

Среди множества гипервизоров особый интерес представляют VMware Fusion и Oracle VirtualBox — два популярных решения, применяемых в различных сценариях виртуализации. VMware Fusion предлагает глубокую интеграцию с macOS и оптимизацию под процессоры Apple Silicon, тогда как Oracle VirtualBox — это кроссплатформенное решение с открытым исходным кодом, предоставляющее широкие возможности конфигурирования [3].

Тестирование проводилось на Apple MacBook Air с процессором M2, основанным на архитектуре ARM64. Данный процесс накладывает ограничения, поскольку большинство традиционных гипервизоров разрабатывались с учетом архитектуры x86-64, что может влиять на производительность и совместимость программного обеспечения [4, 5]. В рамках исследования были рассмотрены два сценария: работа одной ВМ и многозадачная работа нескольких ВМ, при которой оперативная память распределяется между гостевыми системами, что может привести к дефициту ресурсов.

Таблица 1. Характеристики машины-хоста

Модель	Apple MacBook Air (M2, 2022)
Процессор	Apple M2(8 core, 4 Avalanche + 4 Blizzard)
Архитектура	ARM64 (Apple Silicon)
Оперативная память	16 ГБ LPDDR5
Накопитель	SSD 256 ГБ
Операционная система	macOS Sequoia 15.1

Вопрос сравнительного анализа гипервизоров второго типа активно рассматривается в современных исследованиях. В работе Pandey, R. [9] выполнено общее сравнение гипервизоров VMware Fusion и Oracle VirtualBox, где подчеркивается, что производительность гипервизоров зависит как от архитектуры хост-системы, так и от реализованных механизмов

виртуализации. В исследовании Deng, Q. [10] рассмотрены гипервизоры первого и второго типа(включая VMware Fusion и Oracle VirtualBox), при этом отмечено, что гипервизоры второго типа, несмотря на меньшую производительность при высоких нагрузках, обеспечивают большую гибкость и удобство при использовании на персональных компьютерах.

Таблица 2. Характеристики виртуальных машин

Гостевая ОС	Ubuntu Live Server 24.04.1 (ARM64)
Оперативная память	
– Модель 1	3 ГБ
– Модель 2	6 ГБ
Количество виртуальных процессоров	2
Размер виртуального диска	20 ГБ
Тип диска	VDI (для VirtualBox), VMDK (для VMware)
Сетевые настройки	NAT

В работе Stepurin, K. & Sergeev, A. [11] выполнено тестирование производительности гипервизоров VMware Fusion и Oracle VirtualBox

на платформе macOS с процессором Apple M1, показавшее, что VMware Fusion демонстрирует лучшие результаты в вычислительных тестах

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

благодаря оптимизации под архитектуру ARM64. Настоящая работа продолжает эти исследования, уделяя внимание сравнительному тестированию гипервизоров на платформе Apple MacBook Air с процессором M2, а также анализу производительности гипервизоров при увеличении числа одновременно работающих виртуальных машин в условиях дефицита оперативной памяти.

Целью данной работы является сравнительное тестирование производительности гипервизоров VMware Fusion и Oracle VirtualBox при различных конфигурациях ВМ, анализ их поведения в условиях ограниченных ресурсов, а также выявление возможных преимуществ и недостатков каждого решения. Исследование поможет определить, какой из гипервизоров более эффективен для использования на MacBook с Apple Silicon, а также обозначить потенциальные узкие места в работе виртуальных машин на ARM64.

Используемое оборудование

В таблице 1 приведена информация о физической машине, используемой в качестве хоста для виртуальных машин.

Гипервизоры:

- Oracle VirtualBox Version 7.1.4 (экспериментальная поддержка ARM64)
- VMware Fusion Version 13.6.1 (адаптация под Apple Silicon)

Примечание:

Для работы на Apple Silicon (ARM64) VMware Fusion и VirtualBox используют трансляцию инструкций x86 в ARM, что может влиять на производительность.

Параметры виртуальных машин

В рамках тестирования использовались две модели ВМ, различающиеся объемом выделяемой оперативной памяти. Увеличенный объём оперативной памяти у второй модели требуется для демонстрации работы гипервизоров при дефиците ресурсов. Для обеспечения корректного сравнения гипервизоров параметры ВМ были унифицированы. В таблице 2 приведены характеристики этих моделей.

Обоснование выбранных параметров:

• Гостевая ОС Ubuntu Server обладая широким выбором серверных приложений и гибкостью в настройке является отличным выбором для создания стабильных, надежных и безопасных серверных конфигураций. Данный дистрибутив активно развивается и используется во многих организациях. Кроме того, Ubuntu Server поддерживает ARM архитектуру процессоров, что требуется для проведения тестирования на представленном оборудовании.

- RAM 3 ГБ — минимальный

рекомендуемый объём для Ubuntu Server. Это позволяет избежать нехватки памяти при базовых нагрузках. Также такой объём выделяемой оперативной памяти потенциально позволит практически изолированному существованию 3-х виртуальных машин, избегая конкуренции за ресурсы.

- vCPU Виртуальные CPU эмулируют производительность физических ядер. 2 процессора выбраны для баланса между нагрузкой на хост и гостевую ОС.

Инструмент тестирования

PassMark PerformanceTest for Linux v11.0 — это утилита для объективного тестирования производительности системы с помощью различных тестов скорости. Она позволяет сравнивать результаты с другими системами и доступна для различных платформ, включая Linux.

Причины выбора PassMark PerformanceTest:

- Комплексность: Тестирует все ключевые компоненты системы, включает синтетические тесты, имитирующие реальные нагрузки.
- Кроссплатформенность: Поддерживает Linux.
- Объективность: Предоставляет стандартизированные тесты, результаты которых можно сравнивать с другими системами.
- Удобство использования: Имеет командный интерфейс, что упрощает автоматизацию тестирования.

Ограничение: PassMark PerformanceTest for Linux не содержит в себе инструментов для тестирования двумерной графики. Данное ограничение было принято ввиду специфики тестируемой ОС. По умолчанию в Ubuntu live server отсутствует графический интерфейс.

Описание тестов

PerformanceTest для Linux включает в себя следующие тесты:

- CPU Mark: Комплексный тест, оценивающий производительность процессора через различные субтесты, такие как:
 - Integer Math: Тестирует производительность при выполнении целочисленных математических операций.
 - Floating Point Math: Оценивает скорость выполнения операций с плавающей запятой.
 - Prime Numbers: Измеряет скорость вычисления простых чисел.
 - Sorting: Тестирует эффективность алгоритмов сортировки.
 - Encryption: Оценивает производительность при шифровании данных.
 - Compression: Измеряет скорость сжатия данных.
 - Physics: Тестирует производительность

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

при вычислениях, связанных с физическими моделями.

- Single Threaded: Оценивает производительность процессора в однопоточном режиме.

- Matrix Multiplication: Умножение матриц
- Memory Mark: Набор тестов, оценивающих производительность подсистемы памяти, включая:

- Allocate: Измеряет, насколько быстро система выделяет и освобождает оперативную память.

- Read Cached: Измеряет скорость чтения из кэшированной памяти.

- Read Uncached: Оценивает скорость чтения из некешированной памяти.

- Write: Измеряет скорость записи в память.

- Large blocks: Включает тестирование работы с большими массивами

- Latency: Измеряет время доступа к оперативной памяти.

- Threaded: Тестирует производительность памяти при многопоточных операциях.

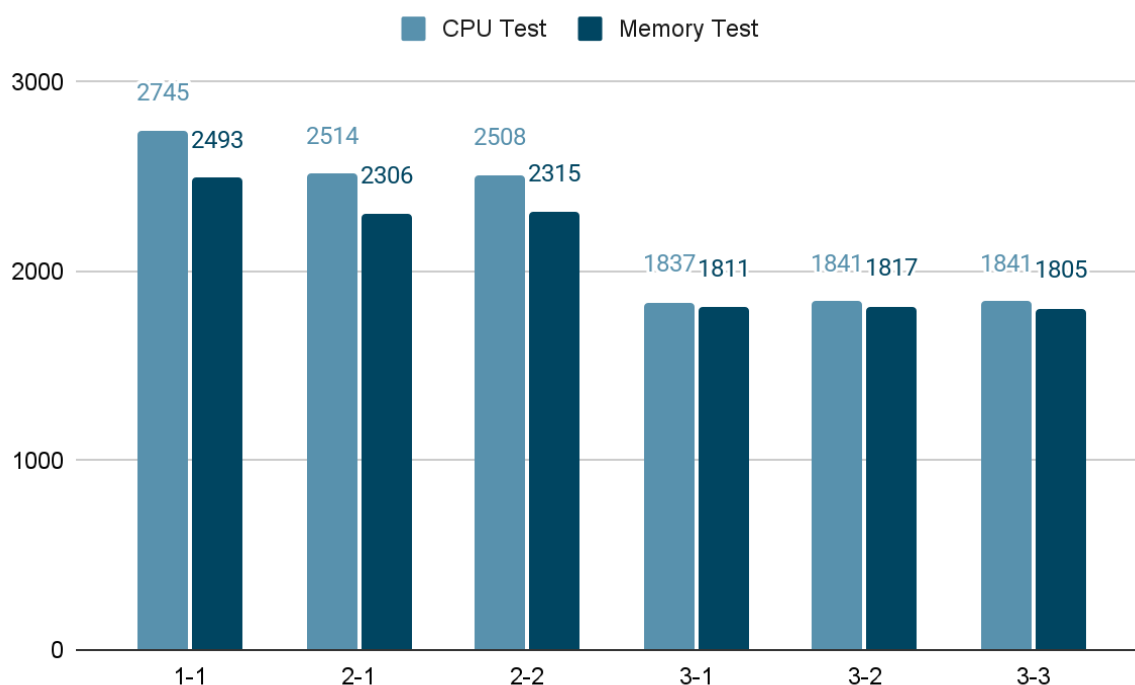


Рисунок 1. Результаты тестирования Oracle VirtualBox (BM модель 1).

В качестве дополнительного параметра было указано проведение 2-х запусков каждого теста. Итоговым результатом является среднее этих двух запусков.

Результаты тестирования приводятся в баллах PassMark. Баллы PassMark – это числовой показатель производительности системы,

вычисляемый с помощью набора тестов PassMark Performance Test. Эти баллы отражают вычислительную мощность процессора, памяти, графической системы и дисков в различных сценариях нагрузок. Каждый тест генерирует определенное число очков, основанное на времени выполнения и количестве обработанных данных.

Таблица 3. Результаты тестирования Oracle VirtualBox (BM модель 1)

VM Count-Number	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
CPU Test	2745	2514	2508	1837	1841	1841
% от 1-1		– 9.1%	– 9.4%	– 49.4%	– 49.1%	– 49.1%
Memory Test	2493	2306	2315	1811	1817	1805
% от 1-1		– 8.1%	– 7.6%	– 37.6%	– 37.2%	– 38.1%

Чем выше баллы PassMark, тем выше производительность тестируемой системы в

соответствующей категории.

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

Результаты тестирования

Обозначения:

- VM Count-Number: Первая цифра — общее количество запущенных виртуальных машин, вторая цифра — номер конкретной машины.

- CPU Test: Результаты теста процессора (в баллах PassMark).

- Memory Test: Результаты теста оперативной памяти (в баллах PassMark).

а. Oracle VirtualBox VM модель 1

В таблице 3 и на рисунке 1 приведены результаты тестирования гипервизора Oracle VirtualBox для первой модели VM. Ниже приведены выводы, сделанные на основании этих данных:

1. Одна виртуальная машина (1-1):

CPU Test: 2745

Memory Test: 2493

Это максимальная производительность, так как все ресурсы гипервизора выделены одной машине.

2. Две одновременно работающие виртуальные машины (2-1 и 2-2):

CPU Test: 2514, 2508 (снижение на ~9% относительно 1-1)

Memory Test: 2306, 2315 (снижение на ~7–8% относительно 1-1)

Производительность каждой VM немного снижается, так как процессор и память теперь делятся между двумя VM. Однако снижение незначительное, что говорит о достаточно эффективном распределении ресурсов.

На хосте установлен 8-ядерный процессор, каждой виртуальной машине было выделено 2 виртуальных процессора, при запуске двух VM в общей сложности было задействовано 4 vCPU из 8 возможных физических ядер. Нагрузка на физические ядра была распределена равномерно, и система не достигала предела вычислительных возможностей.

Также общий объем используемой памяти составил 6 ГБ из 16 ГБ, что оставило достаточный резерв для хост-системы.

3. Три одновременно работающие

виртуальные машины (3-1, 3-2, 3-3):

CPU Test: 1837, 1841, 1841 (снижение на ~49% относительно 1-1)

Memory Test: 1811, 1817, 1805 (снижение на ~37–38% относительно 1-1)

Производительность виртуальных машин существенно снижается по сравнению с первоначальными значениями при запуске одной VM. Это объясняется тем, что ресурсы хост-системы теперь распределяются между тремя гостевыми машинами, а также возрастает накладная нагрузка гипервизора на управление виртуальными средами. Однако снижение не пропорционально трёхкратному увеличению количества VM. Если бы ресурсы хост-системы не справлялись с нагрузкой, производительность могла бы упасть значительно сильнее. Запущенные машины используют 6 vCPU из 8 физических ядер, это означает, что на уровне аппаратного обеспечения ещё остаётся небольшой резерв вычислительной мощности, что предотвращает критический рост задержек.

Каждой VM выделяется 3 ГБ RAM, при трёх VM используется 9 ГБ из 16 ГБ. Это не превышает доступные ресурсы, поэтому система не уходит в активный своп, что могло бы привести к ещё большему падению производительности.

Хотя параметры виртуальных машин были изначально подобраны так, чтобы избежать конкуренции за ресурсы, гипервизор VirtualBox не обеспечивает жёсткой изоляции между гостевыми ОС. Это приводит к тому, что распределение процессорного времени происходит динамически. Если VM выполняет сложные вычисления, она может временно занимать большее количество тактов процессора, чем другая VM. Управление памятью также зависит от алгоритмов работы VirtualBox: гипервизор использует оверкоммитинг(механизм, при котором гипервизор выделяет больший объем оперативной памяти виртуальным машинам, чем доступно физически) памяти и накладные расходы на управление виртуальной средой, что дополнительно снижает производительность.

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

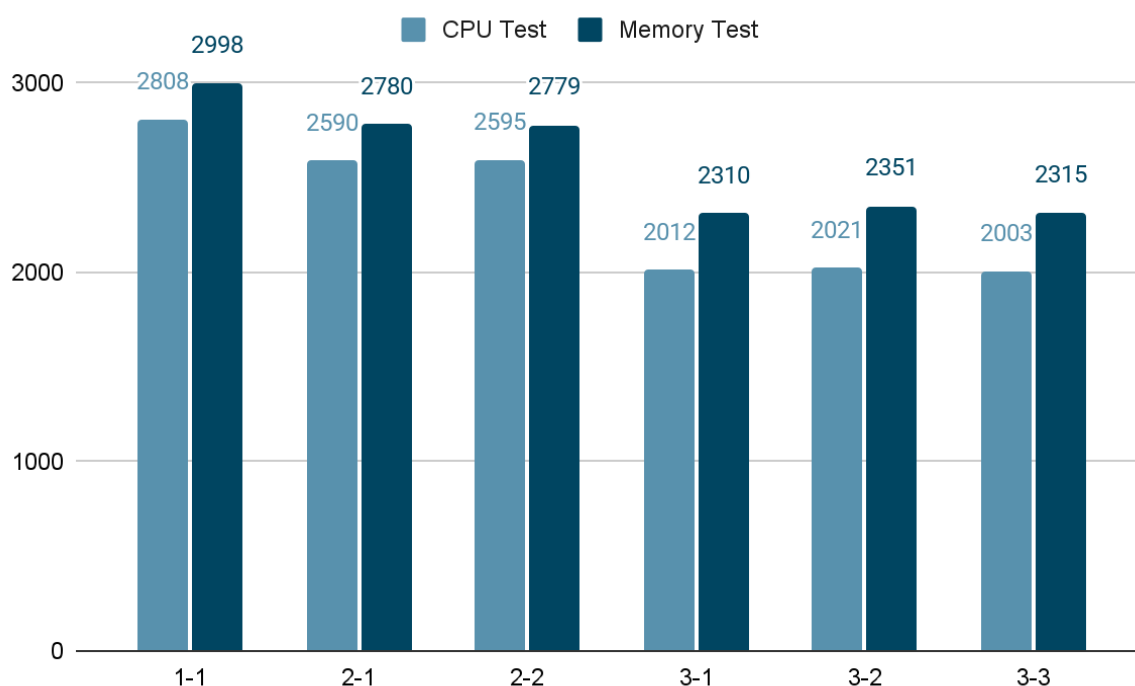


Рисунок 2. Результаты тестирования Oracle VirtualBox (BM модель 2)

Таблица 4. Результаты тестирования Oracle VirtualBox (BM модель 2)

VM Count-Number	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
CPU Test	2808	2590	2595	2012	2021	2003
% от 1-1		– 8.1%	– 7.9%	– 39.2%	– 38.6%	– 39.8%
Memory Test	2998	2780	2779	2310	2351	2315
% от 1-1		– 7.8%	– 7.8%	– 29.7%	– 27.5%	– 29.5%

Закключение:

Чем больше виртуальных машин запущено одновременно, тем сильнее снижается производительность для каждой из них. Это связано с ограниченными ресурсами физического процессора, разделением доступной памяти между ВМ и накладными расходами гипервизора на управление несколькими ВМ.

б. Oracle VirtualBox ВМ модель 2

Теперь проведём аналогичное тестирования для второй модели виртуальной машины, с увеличенным объёмом выделяемой оперативной памяти.

В таблице 4 и на рисунке 2 отображены результаты тестирования гипервизора с использованием второй модели ВМ. Проанализируем изменения производительности по сравнению с результатами для первой модели.

1. Одна виртуальная машина (1-1):

Производительность CPU выросла на 2.3%, что может быть связано с тем, что гостевая ОС

лучше использует увеличенный объем RAM, снижая нагрузку на диск и систему управления памятью.

Memory Test улучшился на 20.2%, что логично – большее количество оперативной памяти увеличивает эффективность работы с данными.

2. Две одновременно работающие виртуальные машины (2-1 и 2-2):

Производительность CPU улучшилась на 3-3.5%. Это небольшое улучшение говорит о том, что дополнительная RAM снижает задержки при обработке данных, но не является критическим фактором для CPU. Производительность памяти выросла на 20%, что подтверждает улучшенное управление памятью в условиях большего объема RAM.

3. Три одновременно работающие виртуальные машины (3-1, 3-2, 3-3):

CPU Test вырос на 8.8-9.8% по сравнению с первой моделью тестирования, что означает, 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

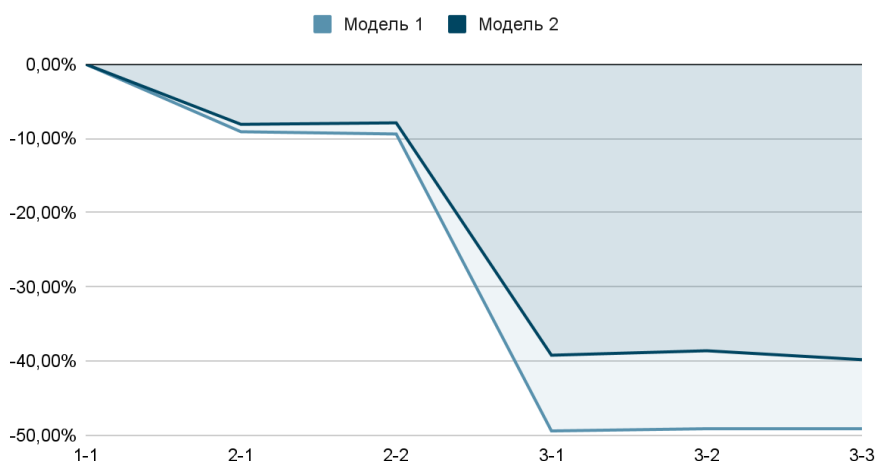
VirtualBox смог эффективно распределять ресурсы памяти в условиях их дефицита, показывая прирост производительности.

Memory Test вырос на 27-29% – увеличение RAM помогло избежать сильной деградации производительности памяти, характерной для первой модели тестирования. Сравним полученные результаты с результатами для первой модели.

На рисунке 3 приведено сравнение падения результатов тестирования при увеличении числа одновременно работающих виртуальных машин модели 1 и 2.

Можно отметить, что увеличение RAM положительно влияет на общую производительность ВМ в Oracle VirtualBox, особенно при работе 3 и более ВМ одновременно. Падение результатов менее выражено.

CPU Tests



Memory Tests

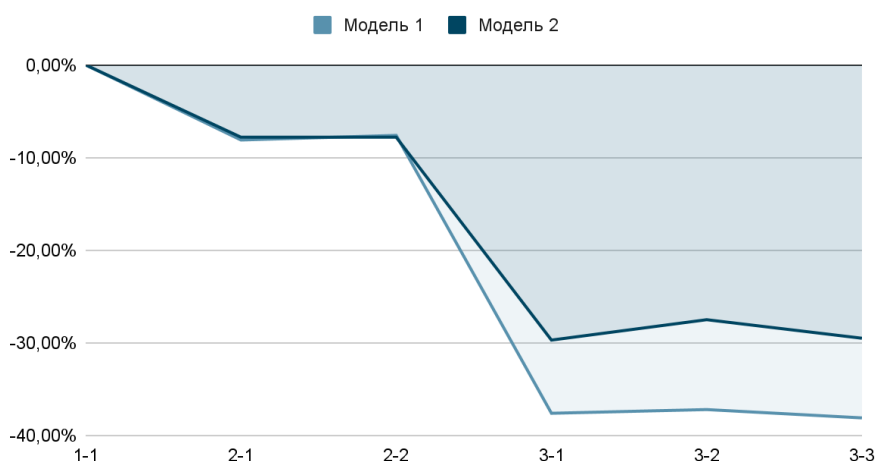


Рисунок 3. Сравнение результатов тестирования двух моделей ВМ

Таблица 5. Результаты тестирования VMware Fusion (ВМ Модель 1)

VM Count-Number	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
CPU Test	3107	2974	2963	2401	2394	2388
% от 1-1		- 4.4%	- 4.8%	- 29.4%	- 29.7%	- 30.1%
Memory Test	2410	2427	2343	2160	2174	2112
% от 1-1		+ 0.1%	- 2.8%	- 11.5%	- 10.8%	- 14.1%

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

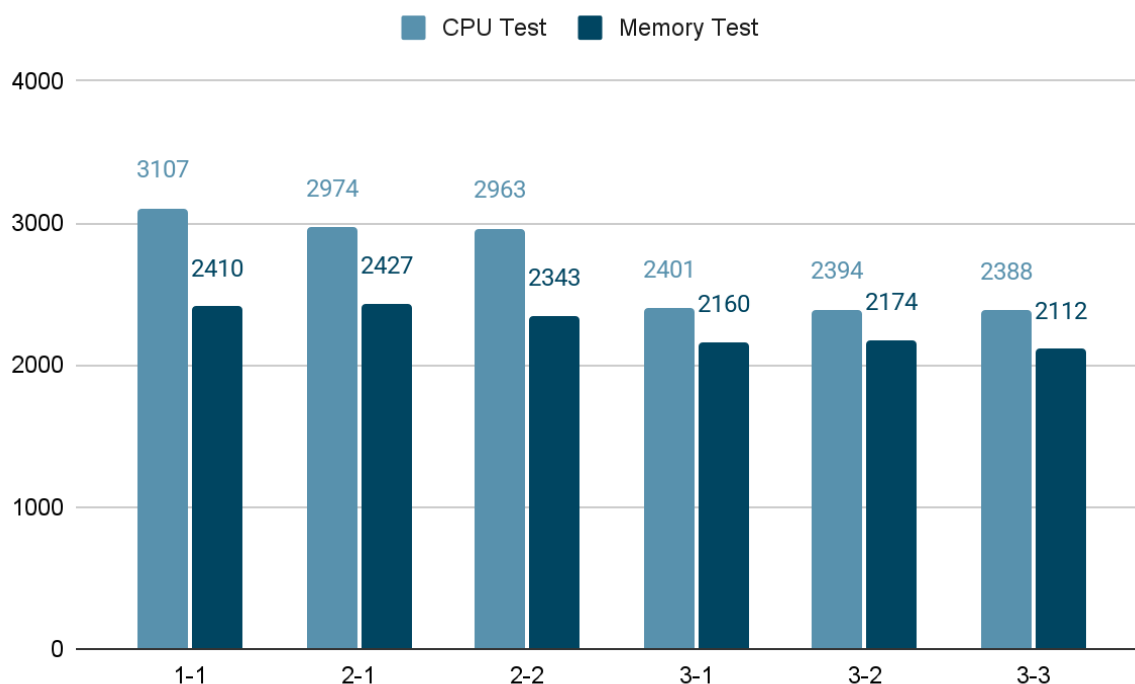


Рисунок 4. Результаты тестирования VMware Fusion (BM Модель 1)

Рост производительности CPU относительно небольшой (~2-10%), что подтверждает, что процессорные вычисления не являются узким местом, а основной прирост происходит за счет снижения задержек работы с памятью.

Производительность памяти увеличилась на 20-29%, что доказывает, что в первой модели при 3 VM возникала нехватка оперативной памяти.

Несмотря на то, что общий объем

выделенной оперативной памяти при трех VM (18GB) превышает доступные 16GB на хосте, Oracle VirtualBox продолжает работать и показывает приемлемые результаты. Это свидетельствует о том, что гипервизор эффективно управляет дефицитом RAM, вероятно, используя механизмы динамического распределения памяти и подкачки, предотвращая критическое падение производительности.

Таблица 6. Результаты тестирования VMware Fusion (BM Модель 2)

VM Count-Number	1-1	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
CPU Test	3124	2897	2897	2337	2361	2349
% от 1-1		- 7.8%	- 7.8%	- 33.6%	- 32.3%	- 32.9%
Memory Test	3120	2889	2902	2682	2704	2680
% от 1-1		- 7.9%	- 7.5%	- 16.3%	- 15.3%	- 16.4%

с. VMware Fusion BM модель 1

В таблице 5, а также на рисунке 4 приведены результаты тестирования гипервизора VMware Fusion. Ниже приведены выводы, сделанные на основании этих данных:

1. Одна виртуальная машина (1-1):

CPU Test: 3107

Memory Test: 2410

Производительность выше, чем у Oracle

VirtualBox (+13% в CPU), что говорит о лучшей оптимизации работы с процессором Apple Silicon.

2. Две одновременно работающие виртуальные машины (2-1 и 2-2):

CPU Test: 2974, 2963 (снижение ~4%)

Memory Test: 2427, 2343 (изменения незначительны ~0-2%)

Производительность снижается, но меньше, чем в VirtualBox (где снижение было ~9%).

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

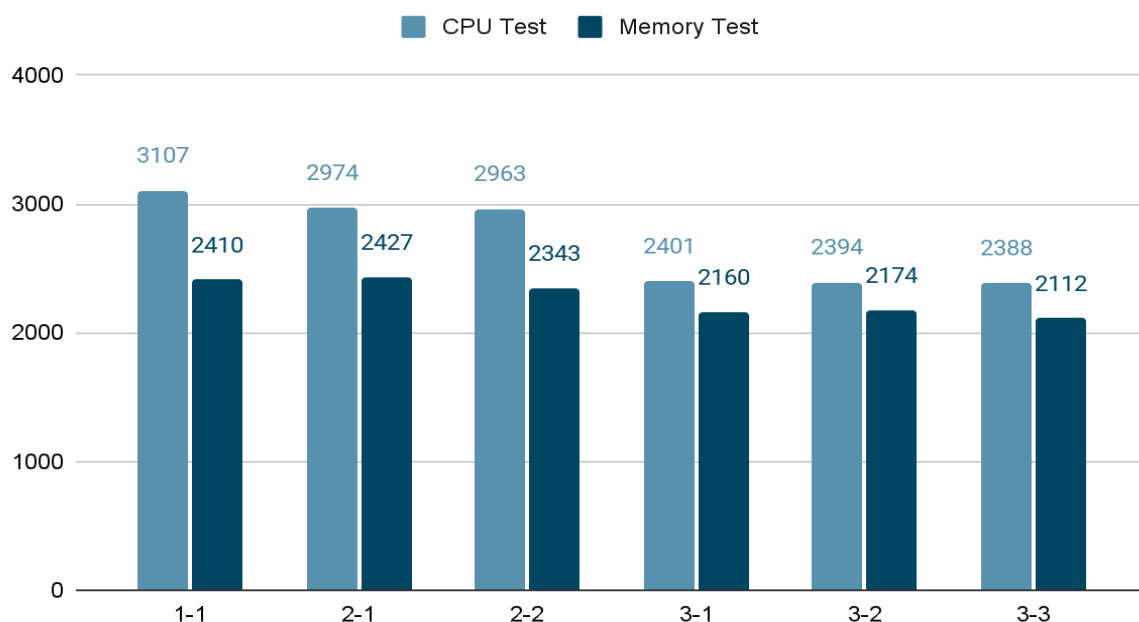
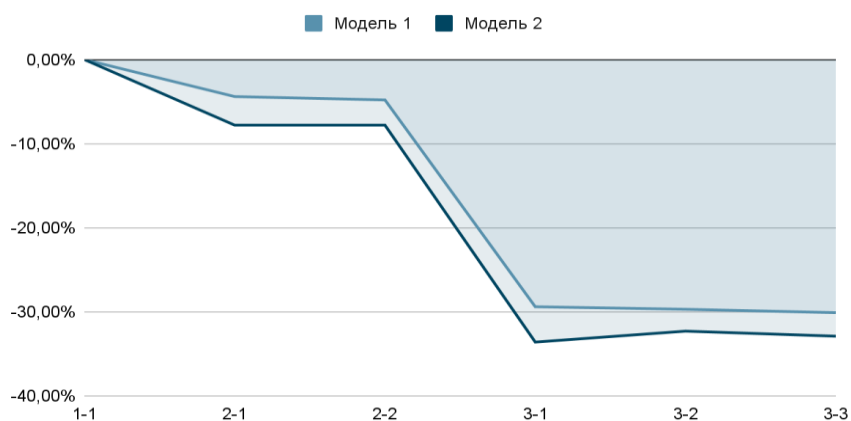


Рисунок 5. Результаты тестирования VMware Fusion (ВМ Модель 2)

CPU Tests



Memory Tests

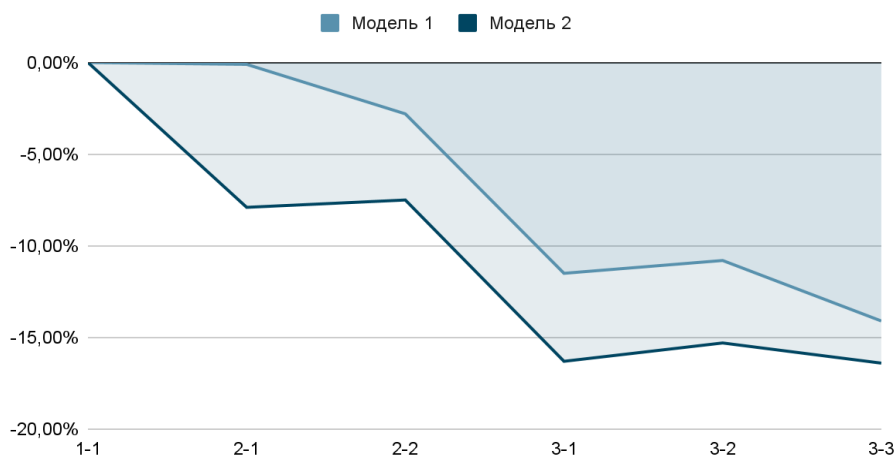


Рисунок 6. Сравнение результатов тестирования двух моделей ВМ

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (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

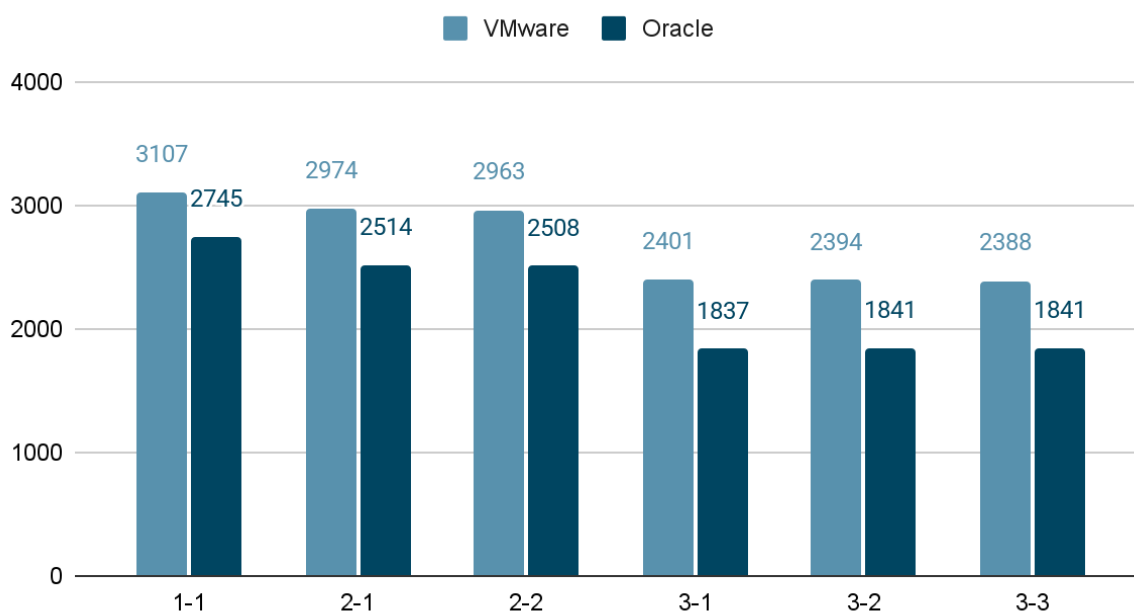
3. Три одновременно работающие виртуальные машины (3-1, 3-2, 3-3):

CPU Test: 2401, 2394, 2388 (снижение ~29–30%)

Memory Test: 2160, 2174, 2112 (снижение ~10–14%)

Снижение производительности происходит, но оно меньше, чем в VirtualBox, где процессорная мощность упала на 33%, а память — на 27%. Это указывает на лучшую масштабируемость VMware Fusion при увеличении числа ВМ.

CPU Tests ВМ Модель 1



CPU Tests ВМ Модель 2

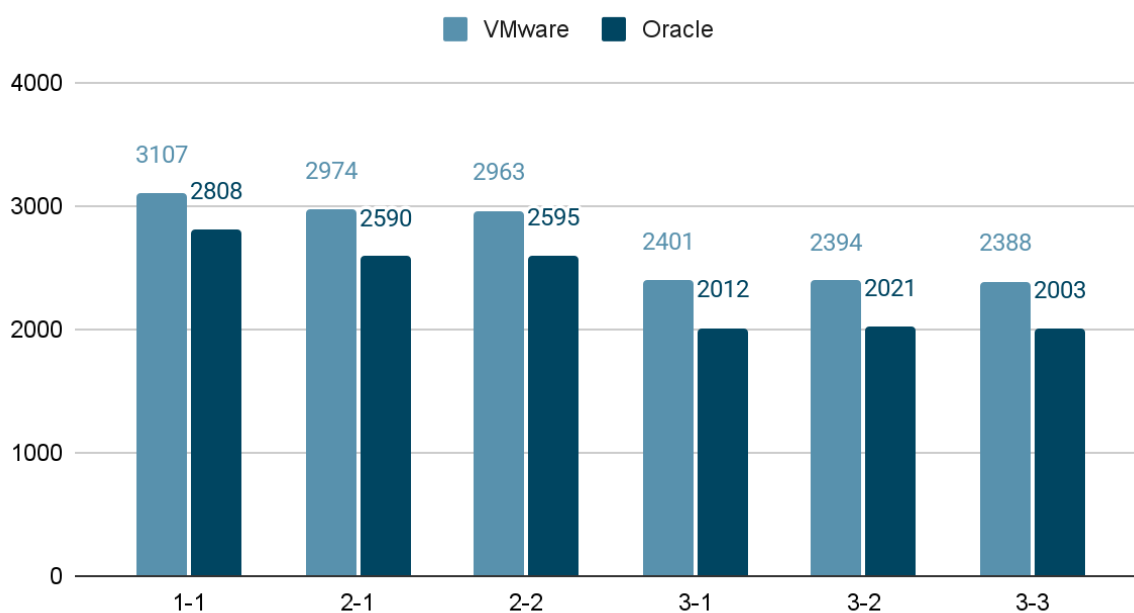


Рисунок 7. Сравнение результатов тестирования(CPU Tests)

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (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

Закключение:

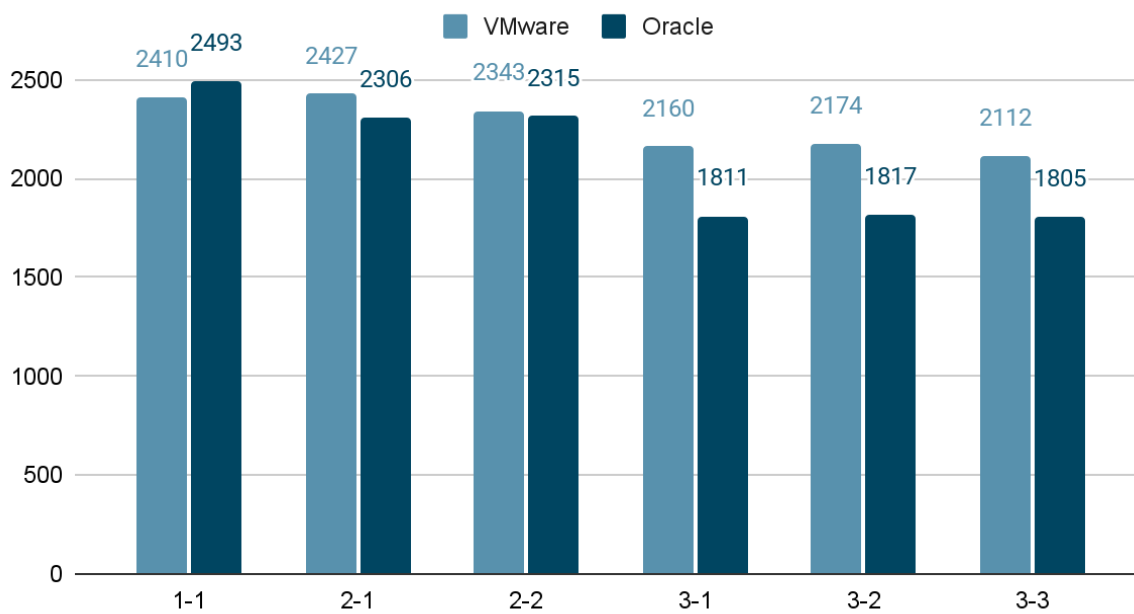
Для VMware наблюдаем аналогичную ситуацию со снижением производительности виртуальных машин при увеличении их общего числа, запущенных на одной машине-хосте.

d. VMware Fusion BM модель 2

Выполним аналогичное тестирование для второй модели BM.

В таблице 6 и на рисунке 5 приведены результаты тестирования VMware с использованием второй модели BM.

Memory Tests BM Модель 1



Memory Tests BM Модель 2

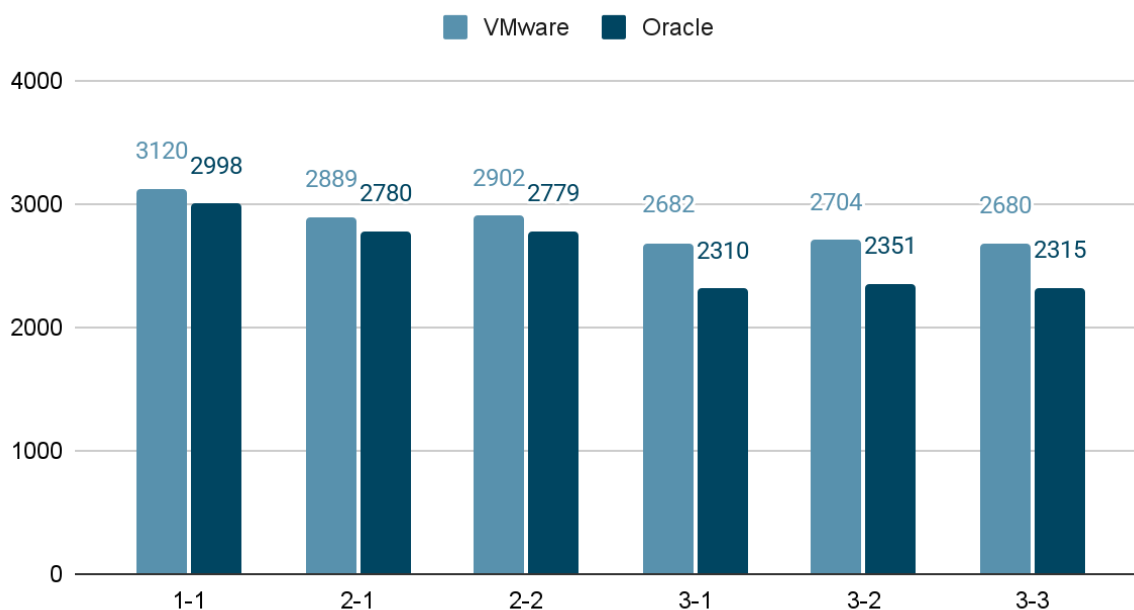


Рисунок 8. Сравнение результатов тестирования(Memory Tests)

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

1. Одна виртуальная машина (1-1):
CPU Test практически не изменился (+0.5%), что указывает на отсутствие влияния объема RAM на процессорные вычисления в условиях одной ВМ.

Memory Test улучшился на 29.5%, что ожидаемо – большее количество RAM позволяет более эффективно работать с большими объемами данных.

2. Две одновременно работающие виртуальные машины (2-1 и 2-2):

CPU Test немного снизился (~2.2-2.6%), что может быть связано с тем, что система тратит дополнительные ресурсы на управление большим объемом RAM.

Memory Test улучшился на 19-23.9%, что показывает, что первая модель тестирования испытывала дефицит памяти, а увеличение RAM уменьшило задержки.

3. Три одновременно работающие виртуальные машины (3-1, 3-2, 3-3):

CPU Test немного снизился (~1.4-2.7%), что может объясняться дополнительными накладными расходами гипервизора при управлении большим объемом RAM.

Memory Test улучшился на 24-26.9%, что подтверждает, что в первой модели тестирования с 3GB RAM возникала нехватка RAM.

Сравним полученные результаты с результатами для модели 1.

На рисунке 6 приведено сравнение падения результатов тестирования при увеличении числа одновременно работающих виртуальных машин модели 1 и 2.

Производительность CPU в VMware Fusion остается высокой, даже при увеличении количества ВМ. Разница в падении производительности незначительная. VMware Fusion демонстрирует более плавное снижение производительности по мере увеличения нагрузки по сравнению с VirtualBox.

VMware Fusion эффективнее управляет оперативной памятью при нехватке RAM, что подтверждается более стабильными результатами Memory Test при трех ВМ.

VMware Fusion показывает меньшие потери производительности при увеличении числа ВМ, что свидетельствует о более эффективном управлении ресурсами и многопоточностью.

VMware Fusion справляется с реальным дефицитом оперативной памяти, обеспечивая приемлемую производительность. При трех одновременно работающих ВМ общий объем выделенной памяти (18GB) превышает физически

доступные 16GB на хосте. Несмотря на это, гипервизор сохраняет стабильную работу без критических потерь производительности, что говорит о грамотной динамической балансировке ресурсов и оптимизированном управлении памятью.

е. Сравнение гипервизоров

На основании полученных для каждого гипервизора результатов тестирования проведем сравнительный анализ.

На рисунке 7 мы видим сравнение результатов CPU Tests для двух гипервизоров. Можно заметить, что VMware демонстрирует себя лучше вне зависимости от числа запущенных машин. Это связано с тем, что VMware Fusion для Apple Silicon изначально разрабатывался с учетом особенностей архитектуры ARM[1], в то время как VirtualBox является кроссплатформенным решением, оптимизированным в первую очередь для x86-архитектуры. Процессор M2 использует гибридную архитектуру (4 производительных + 4 энергоэффективных ядра), и VMware более эффективно распределяет задачи между этими ядрами.

Также VMware Fusion использует API гипервизора macOS[2], который оптимизирован под работу с ARM-процессорами, в то время как VirtualBox не поддерживает нативную виртуализацию на ARM и использует эмуляцию, что приводит к дополнительным накладным расходам и снижению производительности.

При использовании второй модели VMware Fusion продолжает демонстрировать лучшую производительность CPU при увеличении нагрузки, опережая VirtualBox на ~11-17% в тестах процессора.

При трех ВМ VirtualBox испытывает гораздо большее снижение CPU, чем VMware Fusion, что подтверждает более эффективное управление ресурсами в VMware.

На рисунке 8 представлен сравнительный анализ результатов Memory Test. При малом количестве ВМ (1-2) Oracle VirtualBox показывает результаты в тестах памяти не хуже, чем VMware Fusion, но с увеличением числа ВМ его эффективность снижается. VMware Fusion демонстрирует стабильные показатели памяти даже при увеличении числа ВМ, что свидетельствует о более эффективном распределении ресурсов и лучшей многозадачности. При высоких нагрузках (3 ВМ) VMware Fusion опережает VirtualBox более чем на 15-20%, что делает его предпочтительным выбором для сценариев с несколькими ВМ.

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

Таблица 7. Сравнение результатов CPU Tests

CPU Tests	Oracle VirtualBox BM Модель 1	VMware Fusion BM Модель 1	Oracle VirtualBox BM Модель 2	VMware Fusion BM Модель 2
Integer Math	9892	11096 (+12.2%)	9926	11100(+11.8%)
Floating Point Math	19535	21906 (+12.1%)	19574	21913(+11.9%)
Prime Numbers	36	40 (+11.1%)	36	40(+11.1%)
Sorting	9187	10317 (+12.3%)	9126	10269(+12.5%)
Encryption	516	582 (+12.7%)	529	588(+11.1%)
Compression	19292	21986 (+13.9%)	19941	22236(+11.5%)
Physics	829	934 (+12.6%)	840	934(+11.1%)
Single Threaded	2940	3204 (+8.9%)	3117	3192(+2.4%)
Matrix Multiplication SSE	3833	4459 (+16.3%)	4008	4397(+9.7%)
Matrix Multiplication	600	751 (+25.1%)	676	776(+14.7%)

Также, опираясь на результаты тестирования гипервизоров на второй модели ВМ, можно отметить, что хоть и VMware демонстрирует более высокие показатели, а также, оба гипервизора справляются с сценариями, когда

общий объем выделенной оперативной памяти при трех ВМ (18GB) превышает доступные 16GB на хосте, сохраняя стабильную работу без критических потерь производительности.

VirtualBox vs VMware CPU Tests

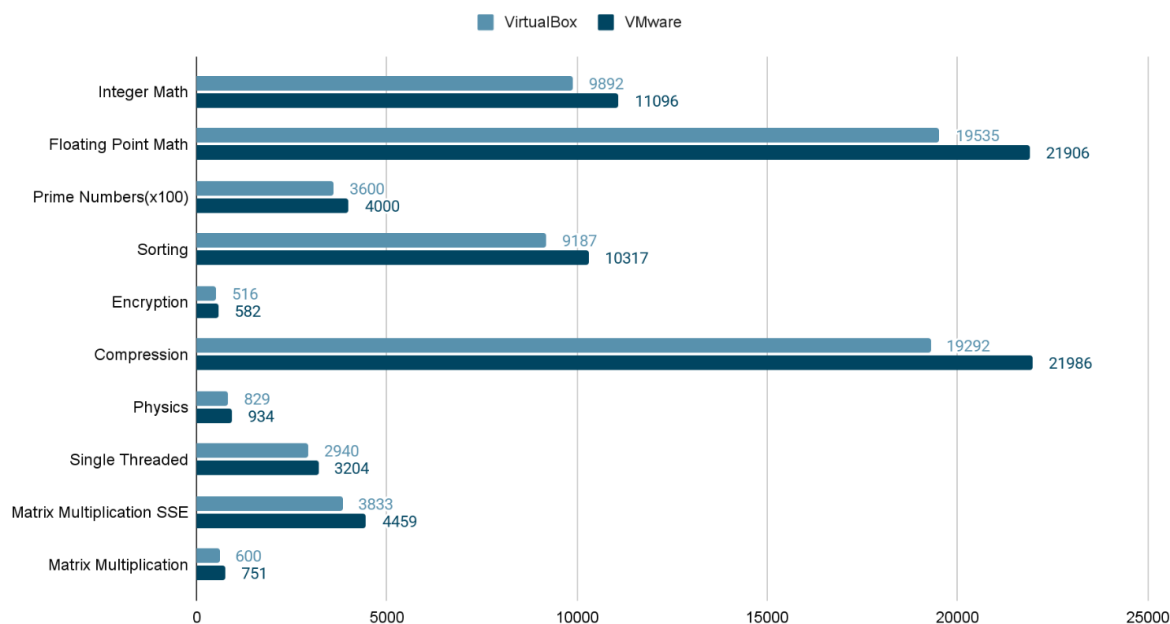


Рисунок 9. Сравнение результатов CPU Tests (BM Модель 1)

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

VirtualBox vs VMware Memory Tests

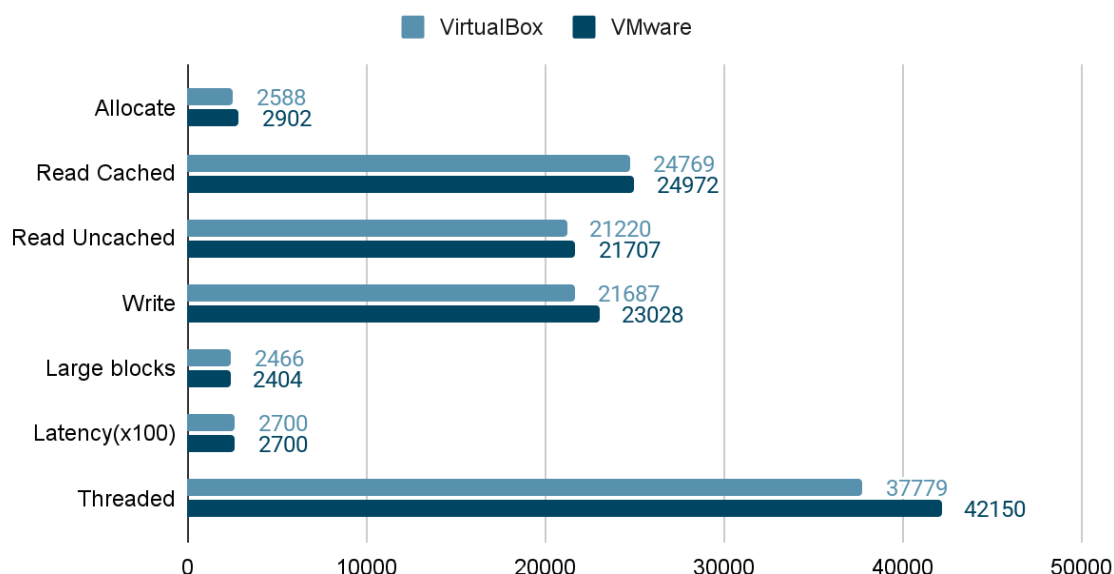


Рисунок 10. Сравнение результатов Memory Tests (BM Модель 1)

Заключение:

VMware Fusion демонстрирует более эффективное управление ресурсами по сравнению с Oracle VirtualBox. Снижение производительности при увеличении количества виртуальных машин менее выражено. Также VMware Fusion лучше справляется с управлением оперативной памятью при увеличении количества виртуальных машин.

Как уже было сказано ранее, VMware Fusion лучше распределяет нагрузку между производительными и энергоэффективными ядрами процессора Apple M2. VirtualBox не имеет столь глубокой интеграции с архитектурой Apple Silicon и может неравномерно загружать ядра, что приводит к большим потерям

производительности.

VMware Fusion использует встроенный в macOS фреймворк Hypervisor, который нативно поддерживает многозадачную виртуализацию. VirtualBox работает через слой эмуляции, что создает дополнительные накладные расходы при переключении контекста между виртуальными машинами.

Падение производительности у Fusion более плавное, что делает его более предсказуемым при работе с высокой нагрузкой, а также в условиях дефицита памяти.

f. Сравнение гипервизоров по каждому из тестов

Таблица 8. Сравнение результатов Memory Tests

Memory Tests	Oracle VirtualBox BM Модель 1	VMware Fusion BM Модель 1	Oracle VirtualBox BM Модель 2	VMware Fusion BM Модель 2
Allocate	2588	2861(+10.5%)	2621	2903(+10.7%)
Read Cached	24769	24434(~)	24461	25240(+3.1%)
Read Uncached	21220	21711(~)	20769	21747(+4.7%)
Write	21687	22451(+3.5%)	21251	22520(+5.9%)
Large blocks	2466	2404(~)	5470	5351(~)
Latency	27	27(~)	28	27(~)
Threaded	37779	42261(+11.1%)	37590	42230(+12.1%)

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (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

В данном разделе проанализированы результаты работы VMware Fusion и Oracle VirtualBox при запуске одной виртуальной машины. Сравнение выполнено по каждому из тестов, что позволяет выявить различия в эффективности обработки вычислительных и память-зависимых задач.

Для большинства тестов более высокое значение указывает на лучшую производительность (например, тесты вычислений, работы с памятью и шифрования). Исключение составляют тесты Latency (задержка памяти), где меньшее значение свидетельствует о лучшем результате.

Выводы по результатам сравнительного анализа, приведённого в таблицах 7 и 8, а также на рисунках 9 и 10:

1. Оптимизация под процессоры Apple Silicon

a. VMware Fusion лучше адаптирован под архитектуру Apple Silicon, в то время как Oracle VirtualBox менее оптимизирован для процессоров на базе архитектуры ARM и использует эмуляцию для некоторых функций.

b. Это объясняет преимущество VMware Fusion в большинстве тестов, особенно в вычислительных операциях, таких как Integer Math, Floating Point Math, Sorting, Compression, Physics.

2. Использование аппаратного ускорения

a. VMware Fusion имеет лучшую поддержку аппаратного ускорения, включая использование Apple Hypervisor Framework, что снижает накладные расходы на виртуализацию.

b. В Oracle VirtualBox вероятно больше используется программная эмуляция, что снижает производительность.

3. Различия в реализации инструкций процессора

a. Тесты на Matrix Multiplication (SSE, FMA) показывают значительное преимущество VMware Fusion, что говорит о лучшей эмуляции или использовании альтернативных инструкций для Apple Silicon. Ввиду отсутствия части инструкций, для работы могут быть использованы NEON для векторных вычислений или, специфичная для процессоров Apple, AMX (Apple Matrix Extensions) – расширение для работы с матрицами. Гипервизоры могут по-разному перенаправлять отсутствующие инструкции, используя и нет оптимизированные замены.

4. При тестировании BM с увеличенным объёмом оперативной памяти(модель 2)

a. Разница в производительности между гипервизорами осталась практически неизменной. VMware Fusion стабильно превосходит Oracle VirtualBox по всем тестам CPU в обоих вариантах BM.

b. Наибольшая разница по-прежнему наблюдается в тестах Matrix Multiplication (SSE, обычное умножение матриц) и Compression, где Fusion быстрее VirtualBox на 9.7-16.3% и 11.5-13.9% соответственно.

c. Производительность Single Threaded увеличилась сильнее на VirtualBox при переходе на вторую модель BM (+6%), чем на Fusion (+2.4%), но Fusion по-прежнему впереди.

5. Эффективность работы с памятью

a. В тестах Allocate, Write, Threaded VMware Fusion показывает лучшую производительность, что может быть связано с более эффективными механизмами управления оперативной памятью на macOS.

b. Read Cached и Read Uncached почти одинаковые, что объясняется тем, что работа с кэш-памятью зависит от процессора, а не от гипервизора. Поэтому влияние определённого гипервизора на этот показатель минимально.

6. Отличия в управлении потоками

a. В тесте Single Threaded VMware Fusion показывает лучшую производительность, что говорит о более эффективной обработке однопоточных задач.

7. Тестирование памяти при увеличенном объёме RAM

a. Во второй модели BM (6GB RAM) память работает быстрее на обоих гипервизорах по сравнению с первой моделью (3GB RAM), что говорит о положительном эффекте увеличения RAM.

b. Allocate (выделение памяти) и Threaded (многопоточная работа с памятью) остаются на 10-12% быстрее на VMware Fusion в обоих случаях.

c. Разница в тестах Read Cached и Read Uncached теперь стала заметнее на VMware Fusion (+3.1% и +4.7%), тогда как в первой модели результаты были почти идентичны.

d. Тест Large Blocks показал значительный рост на обеих BM после увеличения RAM. Однако, разница между гипервизорами осталась практически неизменной, что означает, что оба гипервизора одинаково масштабируют работу с крупными блоками памяти при увеличении объёма RAM.

Выводы по результатам тестирования

Было проведено сравнительное тестирование двух гипервизоров Oracle VirtualBox и VMware Fusion for Apple Silicon на MacBook Air M2 (16GB). В качестве гостевой ОС использовалась Ubuntu Server, а для оценки производительности применялся PassMark Performance Test for Linux.

Тестирование проводилось в двух сценариях:

- Прямое сравнение производительности гипервизоров при одинаковых параметрах BM.

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

• Анализ влияния увеличения числа виртуальных машин на производительность.

1. Сравнение производительности гипервизоров

VMware Fusion уверенно опередил Oracle VirtualBox по большинству тестов CPU и памяти.

Результаты тестирования CPU:

• VMware Fusion показал производительность на 10-30% выше, особенно в задачах с вычислениями с плавающей запятой, сортировкой данных и шифрованием.

• Разница наиболее заметна в тестах Matrix Multiplication (SSE) и Physics, что говорит о лучшей оптимизации работы с инструкциями процессора.

• Single-threaded тест также показал преимущество VMware Fusion, что важно для приложений, не умеющих эффективно использовать многопоточность.

Результаты тестирования памяти:

• VMware Fusion эффективнее управляет многопоточным доступом к памяти и демонстрирует более высокую скорость операций записи и чтения крупных блоков данных.

• Разница особенно заметна в тесте Threaded Memory, где VMware Fusion показал значительно лучшие результаты.

Основные причины превосходства VMware Fusion:

• Оптимизация под архитектуру Apple Silicon (использование Apple Hypervisor Framework).

• Эффективное управление памятью и процессорными ресурсами.

• VirtualBox использует программную эмуляцию, что снижает производительность.

2. Влияние количества виртуальных машин на производительность

При увеличении числа одновременно работающих виртуальных машин VMware Fusion показал значительно лучшую масштабируемость по сравнению с VirtualBox.

• При запуске 2 ВМ: снижение производительности в VMware Fusion $\approx$ 4-5%, в VirtualBox $\approx$ 8-9%.

• При запуске 3 ВМ: в VMware Fusion снижение $\approx$ 23%, в VirtualBox $\approx$ 33%, а память в VirtualBox теряет до 27% производительности против 11% у VMware Fusion.

Вывод:

• VirtualBox хуже масштабируется: уже при 3 ВМ падение производительности становится критичным.

• VMware Fusion распределяет ресурсы эффективнее и сохраняет более высокую производительность при увеличении нагрузки.

References:

- (2024). A. Sergeev, E. Rezedinova and A. Khakhina. Performance Testing of Virtualization Systems on the Assembly of Different Guest Prefabricated Systems. AIP Conf. Proc. 3063, 030004 (2024). Retrieved from <https://doi.org/10.1063/5.0196904>
- Danilova, D., & Sergeev, A. (2024). Testing methodology and analysis of the speed of performance of arithmetic operations in docker and on the host. *Theoretical & Applied Science*, № 01 (129), 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>
- Aliev, I., Gazul, St., & Bobova, A. (2023). "Virtualization technologies and platforms: Comparative overview and updated performance test" AIP Conf. Proc. 9 March 2023; 2700 (1): 040048. doi: 10.1063/5.0125249.
- Lapin, I.A., Sergeev, A.V., & Hahina, A.M. (2023). Performance evaluation of integer and floating-point arithmetical operations carried out using docker containers and host machine. *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2023. № 12. pp. 94-98, DOI: 10.37882/2223-2966.2023.12.20.
- Kavitha, B., & Varalakshmi, P. (2018). "Performance Analysis of Virtual Machines and Docker Containers". Vol. 804, Communications in Computer and Information Science, 2018. pp.99-113.
- Yoshida, K., & Kumar, P. (2023). "Comparative Study of Virtualization Platforms on macOS Systems." *Int. J. High Perform. Comput. Appl.* 2023;37(2):114-22.
- Peterson, J. (2024). "PassMark Performance Tests: A Critical Evaluation." *Softw. Test. Verif. Reliab.* 2024;34(1): 56-70.
- Pandey, Rachit. (2020). *Comparing VMware Fusion, Oracle VirtualBox, Parallels Desktop implemented as Type-2 hypervisors*. 10.13140/RG.2.2.17080.78087.
- Deng, Qingyue. (2024). A Comparative Analysis of the Two Main Hypervisors and Virtualization. *Artificial Intelligence*

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (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

- Technology Research*, 2. DOI: 10.18686/aitr.v2i3.4420.
10. Stepurin, K., & Sergeev, A. (2024). Testing the performance of virtual machines using VMware fusion and Oracle VirtualBox on macOS. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (140), 336-342. SOI: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-140-41> DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.12.140.41>
 11. TechSpot. (2023, October 5). VMware Fusion can now use full 3D acceleration on Apple Silicon. Retrieved from <https://www.techspot.com/news/99418-vmware-fusion-can-now-use-full-3d-acceleration.html>
 12. MacRumors Forum. (2024, January 15). M2 Hypervisor Discussion. Retrieved from <https://forums.macrumors.com/threads/m2-hypervisor.2432478>
 13. VMware. (2024). VMware Fusion Documentation. Retrieved from <https://docs.vmware.com/en/VMware-Fusion/index.html>
 14. Apple. (2024). Hypervisor Framework Documentation. Retrieved from <https://developer.apple.com/documentation/hypervisor>