

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

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: 11 Volume: 151
Received: 15.11.2025
Accepted/Published: 30.11.2025 <https://T-Science.org>



Mikhail Tsarev
Novosibirsk State Technical University
M.Sc. Student, B.Sc. (Computer Science)

Anatoliy Sergeev
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
PhD (Engineering), Docent

PERFORMANCE TESTING OF NESTED VIRTUALIZATION WHEN USING HYPERVISORS VMWARE WORKSTATION AND ORACLE VIRTUALBOX

Abstract: The study provides a comparative analysis of the performance of nested virtualization using hypervisors of the second type, VMware Workstation and Oracle VirtualBox, running on a virtual host deployed running VMware ESXi. The purpose of the study is to evaluate how resource allocation and hypervisor architecture affect the efficiency of virtualized environments in conditions of increasing workload. The experimental setup used identical guest configurations with Windows Server 2016 and used PassMark PerformanceTest to measure processor, memory, disk subsystem, and 2D graphics performance.

The results showed that the performance of both hypervisors decreases when working with multiple parallel virtual machines: VirtualBox provides higher processor and disk bandwidth, while VMware Workstation demonstrated excellent performance with 2D graphics and memory.

The results indicate trade-offs when using different hypervisors for specific workloads and emphasize the need to take into account the impact of nested virtualization when designing virtual infrastructures or performing resource-intensive modeling.

Key words: nested virtualization, hypervisor performance, VMware workstation, Oracle VirtualBox, virtualization comparative analysis, PassMark performance test.

Language: Russian

Citation: Tsarev, M., & Sergeev, A. (2025). Performance testing of nested virtualization when using hypervisors VMware Workstation and Oracle VirtualBox. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (151), 49-57.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-11-151-10> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2025.11.151.10>

Scopus ASCC: 1701.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЛОЖЕННОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИПЕРВИЗОРОВ VMWARE WORKSTATION И ORACLE VIRTUALBOX

Аннотация: В исследовании представлен сравнительный анализ производительности вложенной виртуализации с использованием гипервизоров второго типа VMware Workstation и Oracle VirtualBox, работающих на виртуальном хосте, развернутом под управлением VMware ESXi. Цель исследования - оценить, как распределение ресурсов и архитектура гипервизора влияют на эффективность виртуализированных сред в условиях растущей рабочей нагрузки. В экспериментальной установке использовались идентичные гостевые конфигурации с Windows Server 2016 и применялся PassMark PerformanceTest для измерения производительности процессора, памяти, дисковой подсистемы и 2D-графики.

Результаты показали, что производительность обоих гипервизоров снижается при работе с несколькими параллельными виртуальными машинами: VirtualBox обеспечивает более высокую пропускную

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

способность процессора и диска, в то время как VMware Workstation продемонстрировала превосходную эффективность работы с 2D-графикой и памятью.

Полученные результаты указывают на компромиссы при использовании различных гипервизоров для конкретных рабочих нагрузок и подчеркивают необходимость учета влияния вложенной виртуализации при проектировании виртуальных инфраструктур или выполнении ресурсоемкого моделирования.

Ключевые слова: вложенная виртуализация, производительность гипервизора, VMware Workstation, Oracle VirtualBox, сравнительный анализ виртуализации, тест производительности PassMark.

Введение

Современные вычислительные системы все чаще используют технологии виртуализации для оптимизации ресурсов, повышения отказоустойчивости и обеспечения гибкости инфраструктуры. Виртуализация позволяет запускать несколько изолированных операционных систем на одном физическом сервере, что существенно снижает издержки на оборудование и упрощает управление вычислительными ресурсами.

Особое внимание в последние годы привлекает вложенная виртуализация (nested virtualization) - технология, позволяющая запускать гипервизоры внутри других гипервизоров. Этот подход используется при тестировании систем управления облаками, в образовательных средах, при разработке виртуализированных кластеров и для имитации сложных инфраструктурных сценариев. Однако вложенная виртуализация сопровождается дополнительными накладными расходами на управление ресурсами, что приводит к снижению производительности.

Современные исследования в области виртуализации активно развиваются в трёх направлениях:

Сравнение производительности гипервизоров первого и второго типа;

Исследования Vojnak и др. [1] и Djordjević и др. [2] показали, что при тестировании на одинаковых конфигурациях гостевых систем VirtualBox и VMware Workstation демонстрируют близкие результаты в задачах, связанных с вычислениями и памятью, но существенно различаются по производительности графической подсистемы. В частности, Workstation обеспечивает лучшую обработку графики за счёт более оптимизированного драйвера SVGA, тогда как VirtualBox имеет преимущество в скорости операций ввода-вывода и эффективности использования ЦП.

Изучение влияния архитектуры хоста и гостевой ОС на эффективность виртуальных машин;

Работы Sergeev, Rezedinova и Khakhina [3-5] исследуют влияние архитектуры хостовой системы и конфигурации гипервизора на поведение контейнеров и виртуальных машин. Авторы пришли к выводу, что использование различных операционных систем на хостах

незначительно, но меняет показатели производительности при стресс-тестах Docker. Аналогичные работы содержатся в статье Aliev и др. [6], в котором авторы сравнивают различные типы виртуализаций и платформы для виртуализации. В результате предлагают оптимальные сценарии использования для каждого вида виртуализации.

Анализ вложенной виртуализации и нагрузочного тестирования в облачных инфраструктурах.

Ряд современных публикаций (Morabito и др. [7]; Abdullah и др. [8]; Baransel и др. [9]) акцентируют внимание на сравнении классической виртуализации и контейнерных решений. Авторы подчёркивают, что контейнеры обеспечивают меньшие накладные расходы при управлении ресурсами, однако вложенная виртуализация остаётся незаменимой для задач тестирования гипервизоров, обучения и отладки сложных облачных сценариев.

В недавней работе Polenov, Guzik и Lukyanov [10] был проведён ряд экспериментов по запуску различных гипервизоров на одном выбранном хосте и установке двух виртуальных машин с идентичными конфигурациями.

Вместе с тем, несмотря на растущее количество публикаций, сравнительные исследования вложенной виртуализации в условиях ограниченных ресурсов остаются недостаточно освещёнными. В большинстве работ анализируется либо производительность гипервизоров при прямой виртуализации, либо контейнерные технологии. Практически отсутствуют данные о влиянии вложенной виртуализации на производительность в сценариях, характерных для лабораторных и образовательных систем.

Таким образом, целью настоящей работы является экспериментальное исследование производительности вложенной виртуализации при использовании гипервизоров VMware Workstation и Oracle VirtualBox, а также определение особенностей их поведения при увеличении числа виртуальных машин.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Разработана методика тестирования производительности виртуальных машин на основе программы PassMark PerformanceTest;

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

Проведено измерение производительности ЦП, памяти, дисковой подсистемы и 2D-графики при различном числе виртуальных машин;

Выполнено сравнение показателей гипервизоров VMware Workstation и Oracle VirtualBox при работе во вложенной среде;

Проанализировано влияние количества виртуальных машин на общую производительность системы.

Научная новизна работы заключается в проведении системного количественного анализа, отсутствующего в предшествующих публикациях, вложенной виртуализации в условиях использования популярных гипервизоров второго типа, что позволяет выявить закономерности деградации производительности при наращивании числа ВМ. Практическая значимость заключается в возможности применения полученных данных при проектировании инфраструктур виртуальных лабораторий, систем обучения и тестирования гипервизоров, а также в оптимизации корпоративных сред виртуализации.

Подход к тестированию

Хост-система:

- Процессор: AMD EPYC 7713 64-core Processor 2.0 GHz, Процессоров 2
- Количество ядер процессора: 64
- Оперативная память: 2 Тб
- Накопитель: 154 Тб
- Интерфейс физического SSD: SAS
- Гипервизор на котором работала виртуальная хост машина: VMware ESXi

Параметры виртуального хоста

Виртуальная хост-система:

- ОС: Windows 11
- Количество ядер: 4 виртуальных ядра
- Оперативная память: 16 GB
- Накопитель: динамический диск VHD (30 GB)

Параметры виртуальных машин

Одинаковые параметры для всех создаваемых ВМ:

- ОС: Windows Server 2016
- Количество ядер: 1 виртуальное ядро
- Оперативная память: 4 GB
- Накопитель: динамический диск VHD (30 GB)

Выбор параметров виртуальных машин производился избегая избыточности, позволяя выявить влияние гипервизоров на производительность.

Выделенные ресурсы позволяют существовать нескольким виртуальным машинам со

значительно меньшей зависимостью по производительности друг от друга одновременно – в идеальном случае они могут существовать изолированно в оперативной памяти и на процессоре. Важно отметить, что вторая и третья виртуальные машины являются клонами первой. Данный подход позволяет нам гарантировать, что все тестируемые виртуальные машины максимально идентичны друг другу, как в плане конфигурации, так и в плане установленного ПО.

Описание методики тестирования

В качестве программы для тестирования было решено использовать PassMark Performance Test по следующим причинам:

- PassMark Performance Test позволяет тестировать различные компоненты системы: процессор, оперативную память, дисковую подсистему, 2D-графику и проводить синтетические тесты производительности. Программа предоставляет как отдельные тесты для каждого компонента, так и общий (синтетический) тест производительности, что позволяет получить полную картину.
- Программа предоставляет детализированные результаты тестирования в виде числовых значений, что упрощает анализ и сравнение данных.
- Программа корректно работает на виртуальных машинах, что является основным требованием к работе, где требуется тестирование на нескольких ВМ. Она позволяет оценить, как гипервизор влияет на производительность гостевой системы.
- Можно выбирать только те тесты, которые соответствуют нашим задачам, например, тестирование процессора, памяти, диска и 2D-графики, при этом отказавшись от тестирования 3D-графики, что позволяет сфокусироваться на ключевых аспектах производительности.

Во всех тестах более высокое значение Mark Score (показатель, определенный разработчиками в рамках данной утилиты) указывает на более высокую производительность системы или её компонента.

Что тестирует PassMark Performance Test

1. CPU.

Тестирование CPU включает несколько тестов, которые оценивают производительность процессора в различных задачах: математические вычисления, сжатие данных, шифрование, операции с числами с плавающей запятой и многопоточная обработка. Каждый тест измеряет

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
 РИНЦ (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

скорость выполнения операций и выдает результат в баллах Mark Score.

2. 2D.

Тестирование 2D-графики включает тесты, которые оценивают производительность графической подсистемы при выполнении типичных 2D-операций: отрисовка линий, фигур, текста, шрифтов, изображений и окон. Программа измеряет скорость рендеринга и обработки графических элементов, а также использование ресурсов CPU и GPU. Результаты выдаются в баллах Mark Score.

3. RAM.

Тестирование оперативной памяти включает тесты, которые оценивают скорость чтения, записи и задержки при работе с RAM. Программа измеряет производительность памяти в различных

сценариях, таких как последовательный и случайный доступ, а также операции с большими блоками данных. Результаты показывают, насколько быстро память обрабатывает данные, и выдаются в баллах Mark Score. Это позволяет сравнить результаты с другим количеством ВМ на хост машине.

4. Disk.

Тестирование дисковой памяти включает тесты, которые оценивают скорость чтения, записи и задержки накопителей (HDD, SSD и др.). Программа измеряет производительность при последовательном и случайном доступе к данным, а также при работе с файлами разных размеров. Результаты показывают, насколько быстро диск обрабатывает данные, и выдаются в баллах Mark Score.

Таблица 1. Результаты тестирования производительности ВМ в среде гипервизора Workstation

Количество ВМ	№ВМ	Тест				
		ЦП	Память	Дисковая подсистема	2D графика	Синтетический тест производительности
1	1	1258	1258	2555	68	1187
2	1	1242	1133	1869	67	1077
	2	1183	1078	2186	66	1091
3	1	1034	810	712	41	637
	2	1015	856	718	44	640
	3	1046	819	823	41	685

Таблица 2. Изменение результатов тестирования из таблицы 1 в процентах

Количество ВМ	№ВМ	Тест				
		ЦП	Память	Дисковая подсистема	2D графика	Синтетический тест производительности
1	1	100%	100%	100%	100%	100%
2	1	98,8%	90%	73,15%	98,53%	90,73%
	2	94%	85,69%	85,55%	97,06%	91,91%
3	1	82,19%	64,39%	27,87%	60,29%	53,66%
	2	80,68%	68%	28,1%	64,71%	53,92%
	3	83,15%	65,1%	32,21%	60,29%	57,71%

Таблица 3. Результаты тестирования производительности ВМ в среде гипервизора VirtualBox

Количество ВМ	№ВМ	Тест				
		ЦП	Память	Дисковая подсистема	2D графика	Синтетический тест производительности
1	1	1504	1187	3157	51	1376
2	1	1446	1170	1821	39	1103
	2	1454	1167	1504	42	1064
3	1	1134	832	746	23	533
	2	1078	789	660	18	528
	3	1008	850	547	23	474

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (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 4. Изменение результатов тестирования из таблицы 3 в процентах

Количество ВМ	№ВМ	Тест				
		ЦП	Память	Дисковая подсистема	2D графика	Синтетический тест производительности
1	1	100%	100%	100%	100%	100%
2	1	96,14%	98,57%	57,68%	76,47%	80,16%
	2	96,68%	98,32%	47,64%	82,35%	77,33%
3	1	75,4%	70,09%	23,63%	45,1%	38,74%
	2	71,68%	66,47%	20,91%	35,29%	38,37%
	3	67,02%	71,61%	17,33%	45,1%	34,45%

Анализ результатов для VMware Workstation

При проведении тестирования, для чистоты экспериментов, на виртуальные машины не были установлены VMware Tools. В результате тестирования производительности виртуальных машин было установлено, что увеличение количества одновременно работающих ВМ приводит к снижению общей производительности системы. Это снижение наиболее заметно проявилось в производительности дисковой подсистемы. Кроме того, наблюдались значительные колебания производительности отдельных ВМ, что свидетельствует о неравномерном распределении ресурсов.

Снижение производительности при увеличении количества одновременно работающих виртуальных машин (ВМ) связано с конкуренцией за ресурсы и накладными расходами гипервизора. Хотя каждой ВМ выделено достаточно ресурсов (4 ГБ ОЗУ и 1 ядро процессора), физическое оборудование хостовой системы (Windows 11 с 16 ГБ ОЗУ и 4 ядрами) и гипервизор вынуждены управлять несколькими ВМ одновременно. Это приводит к увеличению нагрузки на ЦП, память, дисковую подсистему и графику. Например, переключение контекста между ВМ, управление виртуальной памятью и эмуляция устройств создают дополнительные задержки, что снижает общую производительность. Особенно заметно падение в тестах дисковой подсистемы и 2D-графики, где одновременные запросы к диску и графические операции требуют значительных ресурсов.

Кроме того, сама хостовая система и гипервизор потребляют часть ресурсов, что уменьшает доступную мощность для виртуальных машин. Например, при трёх ВМ общая нагрузка на ЦП и память возрастает, а дисковые операции становятся менее эффективными из-за конкуренции за доступ к физическому накопителю. Это объясняет, почему даже при выделении достаточных ресурсов каждой ВМ, общая производительность снижается.

Анализ результатов для Oracle VirtualBox

Снижение производительности при увеличении количества одновременно работающих виртуальных машин (ВМ) в Oracle VirtualBox связано с теми же основными факторами, что и в VMware Workstation: конкуренцией за ресурсы и накладными расходами гипервизора. Однако есть и различия в характере снижения. В VirtualBox производительность ЦП и памяти падает менее резко (снижение на 24,6% для ЦП и 29,9% для памяти при трёх ВМ), что может указывать на более эффективное управление этими ресурсами по сравнению с Workstation. Тем не менее, в тестах дисковой подсистемы и 2D-графики VirtualBox показывает более значительное снижение (76,36% для диска и 54,9% для графики), что говорит о менее оптимизированной работе с этими компонентами при высокой нагрузке.

Основная причина снижения производительности в VirtualBox, как и в Workstation - это конкуренция за ресурсы хостовой системы (ЦП, память, диск) и накладные расходы на управление виртуальными машинами. Однако VirtualBox, будучи более универсальным и менее специализированным гипервизором, хуже справляется с распределением ресурсов дисковой подсистемы и графики при увеличении нагрузки. Это особенно заметно в тестах диска, где падение производительности достигает 76% (3157 → 746), что может быть связано с тем, что ВМ при работе не использует возможности интерфейса SAS по высокоскоростной передаче данных.

В целом, VirtualBox демонстрирует более стабильную производительность в тестах ЦП и памяти, но уступает Workstation в управлении дисковыми операциями и графикой при высокой нагрузке. Это делает VirtualBox более подходящим для задач, связанных с вычислительной нагрузкой, но менее эффективным для задач, требующих высокой производительности дисковой подсистемы и графики. Для улучшения результатов можно рассмотреть оптимизацию настроек VirtualBox

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

или использование более производительного оборудования, такого как SSD и выделенные GPU.

В обоих гипервизорах наблюдается снижение производительности при увеличении количества ВМ. Это особенно заметно в тестах:

VirtualBox: диск падение на 76,36% (3157 → 746).

VirtualBox: графика падение на 64,7% (51 → 18).

Workstation: память падение на 64,38% (1258 → 810).

В VirtualBox при трёх ВМ наблюдается значительное падение производительности 2D-графики, что может указывать на недостаточную оптимизацию графической подсистемы при высокой нагрузке.

Снижение производительности 2D-графики в виртуальных машинах (ВМ) связано с тем, что у них нет прямого доступа к физическому GPU. Вместо этого гипервизор эмулирует графическое устройство, используя ресурсы ЦП хостовой системы, что значительно медленнее аппаратного ускорения. Графические данные сначала обрабатываются внутри ВМ, затем передаются гипервизору, а уже он выводит их через хостовую ОС, что создаёт дополнительные задержки. При увеличении количества ВМ нагрузка на ЦП и память хостовой системы растёт, а гипервизор

вынужден распределять ресурсы между всеми ВМ, что ещё сильнее снижает производительность.

В VirtualBox при трёх ВМ наблюдается резкое падение производительности дисковой подсистемы на 82,67% (с 3157 до 547), что может быть связано с тем, что не используются возможности интерфейса SAS по высокоскоростной передаче данных.

При увеличении количества виртуальных машин оба гипервизора показывают снижение производительности, но характер этого снижения различается. VirtualBox лучше справляется с нагрузкой на ЦП и память, но значительно уступает в производительности дисковой подсистемы и графики при высокой нагрузке, графическое представление изменения производительности представлено на рисунках 1-5. Workstation, напротив, демонстрирует более стабильные результаты в тестах диска и графики, но хуже управляет ресурсами ЦП и памяти при увеличении количества ВМ. Таким образом, выбор гипервизора зависит от специфики задач: VirtualBox подходит для вычислительных задач, а Workstation - для задач, требующих высокой производительности диска и графики.

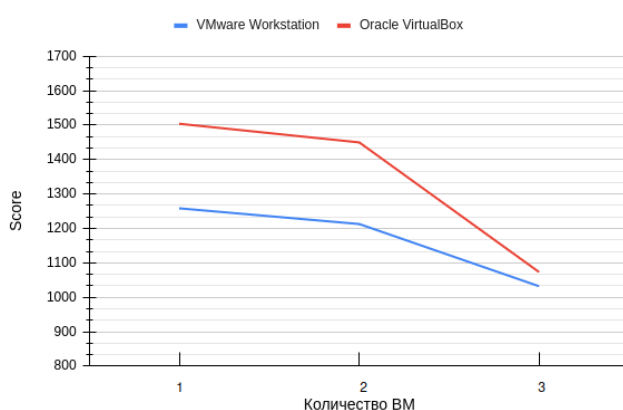


Рисунок 1. График изменения производительности тестов CPU при увеличении количества ВМ

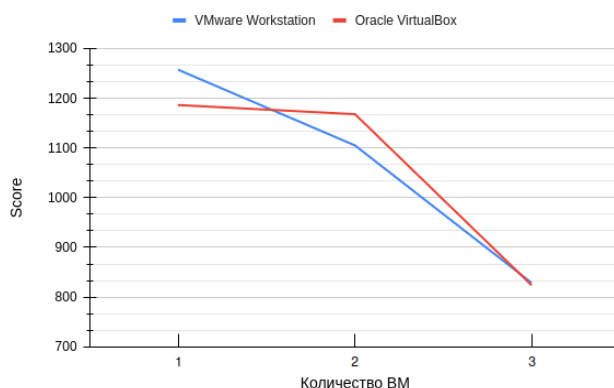


Рисунок 2. График изменения производительности тестов памяти при увеличении количества ВМ

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

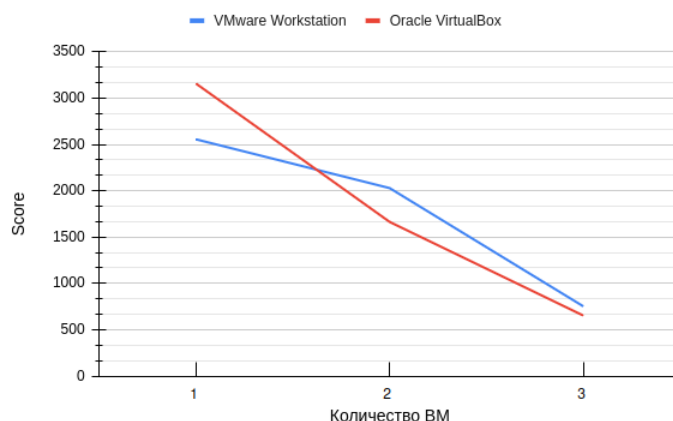


Рисунок 3. График изменения производительности тестов дисковой памяти при увеличении количества VM

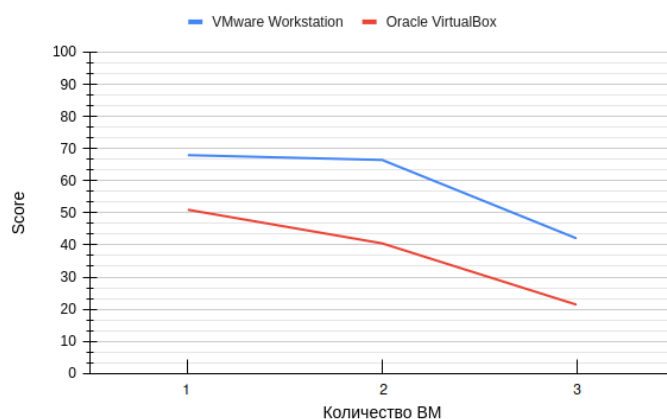


Рисунок 4. График изменения производительности тестов 2D-графики при увеличении количества VM

Результаты тестирования для хост-машины и вложенной виртуализации

В данном разделе приведено сравнительное тестирование виртуальной хост машины (та на которой разворачивались вложенные VM) и две вложенные виртуальные машины поднятые на

тестируемых гипервизорах. Важно отметить что при проведении этих тестов характеристики всех виртуальных машин были одинаковыми, а именно: 8 Гб оперативной памяти и 2 ядра процессора.

Таблица 5. Результаты тестирования производительности вложенной виртуализации используя при использовании различных гипервизоров

Виртуальная машина	ЦП	Память	Дисковая подсистема	2D графика	Синтетический тест производительности
Хост VM	3774 (100%)	1756 (100%)	11676 (100%)	48 (100%)	2865 (100%)
Вложенная VM на VMware Workstation	2575 (68,22%)	1644 (93,62%)	3402 (29,14%)	111 (231%)	2014 (70,3%)
Вложенная VM на Oracle VirtualBox	3070 (81,34%)	1414 (80,52%)	4043 (34,62%)	80 (166%)	2201 (76,82%)

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

Низкий показатель 2D-графики у виртуальной хост-машины (48 баллов) по сравнению с вложенными виртуальными машинами (111 у Workstation и 80 у VirtualBox) связан с особенностями виртуализации на гипервизоре ESXi и различиями в операционных системах. Хостовая машина, работающая на ESXi с ОС Windows 11, вероятно, использует встроенную графику или виртуализированный GPU, который не оптимизирован для задач 2D-графики, а также может быть ограничен в ресурсах из-за накладных расходов на управление виртуальной средой. В то же время вложенные ВМ, работающие на Windows Server 2016, используют более эффективные механизмы эмуляции графики, предоставляемые гипервизорами (например, VMware SVGA или VirtualBox Graphics Adapter), и могут быть лучше оптимизированы для выполнения графических операций. Кроме того, Windows Server 2016 может иметь более подходящие драйверы и настройки для виртуализированной графики, что улучшает её результаты в тестах 2D-графики по сравнению с Windows 11, которая не всегда адаптирована для работы в виртуальных средах.

Тестирование вложенной виртуализации показало, что хост-машина демонстрирует значительно более высокую производительность во всех тестах (ЦП: 3774, память: 1756, дисковая подсистема: 11676, синтетический тест: 2865) по сравнению с вложенными виртуальными машинами. Среди вложенных ВМ Oracle VirtualBox показывает лучшую производительность в тестах ЦП (3070 против 2575) и дисковой подсистемы (4043 против 3402), что делает его более эффективным для задач, требующих высокой вычислительной мощности и быстрого доступа к данным. Однако VMware Workstation превосходит VirtualBox в тестах 2D-графики (111 против 80) и оперативной памяти (1644 против 1414), что указывает на его преимущество в задачах, связанных с визуализацией и управлением памятью. В целом, вложенная виртуализация приводит к значительному снижению производительности по сравнению с хост-машиной, что связано с

дополнительными накладными расходами на управление ресурсами.

Общие выводы

На основе проведённого тестирования можно сделать вывод, что Oracle VirtualBox демонстрирует более высокую производительность в тестах процессора и дисковой подсистемы. Это делает его предпочтительным для задач, связанных с вычислительной нагрузкой и операциями, требующими быстрого доступа к данным. Однако при увеличении количества виртуальных машин производительность VirtualBox значительно снижается, особенно в тестах дисковой подсистемы и 2D-графики, что указывает на ограничения в управлении ресурсами при высокой нагрузке.

VMware Workstation демонстрирует лучшие результаты в тестах 2D-графики, что делает его предпочтительным для задач, требующих качественной визуализации. Однако Workstation уступает Oracle VirtualBox в тестах процессора и дисковой подсистемы, особенно при увеличении количества виртуальных машин. Например, при трёх ВМ производительность Workstation в тестах диска падает на 70%, а в тестах 2D-графики - на 40%, что указывает на недостаточную оптимизацию при высокой нагрузке. VirtualBox, напротив, лучше справляется с нагрузкой на процессор и диск, но значительно уступает в производительности графики, особенно при увеличении количества ВМ.

В целом, оба гипервизора показывают снижение производительности при увеличении количества виртуальных машин из-за конкуренции к доступу ресурсов хостовой системы. Для достижения оптимальных результатов рекомендуется выбирать гипервизор в зависимости от специфики задач: VirtualBox подходит для задач с высокой вычислительной нагрузкой, а Workstation - для задач, требующих качественной 2D-графики. При этом важно учитывать, что увеличение количества ВМ приводит к снижению производительности, поэтому необходимо тщательно планировать распределение ресурсов.

References:

1. Vojnak, D. T., et al. (2019). *Performance Comparison of the type-2 hypervisor VirtualBox and VMWare Workstation* //2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR). – IEEE, 2019. – pp. 1-4.
2. Djordjević, B., et al. (2023). *Comparison of VMware Workstation, VirtualBox and MS Hyper-V hypervisor performance with MS Windows OS based guests* //2023 22nd International Symposium INFOTEH-

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

- JAHORINA (INFOTEH). – IEEE, 2023. – pp. 1-5.
3. Sergeev, A., Rezedinova, E., & Khakhina, A. (2022). Stress testing of Docker containers running on a Windows operating system // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2022. – T. 2339. – №.1. – pp. 012010.
5. Sergeev, A., Rezedinova, E., & Khakhina, A. (2022). *Docker container performance comparison on windows and linux operating systems* // 2022 international conference on communications, information, electronic and energy systems (CIEES). – IEEE, 2022. – pp. 1-4.
6. Sergeev, A., Rezedinova, E., & Khakhina, A. (2024). *Performance testing of virtualization systems on the assembly of different guest prefabricated systems* // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2024. – T. 3063. – №. 1. – pp. 030004.
7. Aliev, I., Gazul, S., & Bobova, A. (2023). *Virtualization technologies and platforms: Comparative overview and updated performance tests* // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – T. 2700. – №. 1.
8. Morabito, R., Kjällman, J., & Komu, M. (2015). *Hypervisors vs. lightweight virtualization: a performance comparison* // 2015 IEEE International Conference on cloud engineering. – IEEE, 2015. – pp. 386-393.
9. Abdullah, M., Iqbal, W., & Bukhari, F. (2018). *Containers vs virtual machines for auto-scaling multi-tier applications under dynamically increasing workloads* // International Conference on Intelligent Technologies and Applications. – Singapore: Springer Singapore, 2018. – pp. 153-167.
10. Baransel, B. A., et al. (2020). *Towards low cost and smart load testing as a service using containers* // International Conference on Intelligent Technologies and Applications. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – pp. 292-302.
11. Polenov, M., Guzik, V., & Lukyanov, V. (2019). *Hypervisors comparison and their performance testing* // Software Engineering and Algorithms in Intelligent Systems: Proceedings of 7th Computer Science On-line Conference 2018, Volume 17. – Springer International Publishing, 2019. – pp. 148-157.
12. (2022). Huawei Technologies Co., Ltd. *Virtualization Technology* // Cloud Computing Technology. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – pp. 97-144.
13. Djordjevic, B., et al. (2025). *Testing the performance of ssd disk technology on aws architecture* // INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE–SCIENCE AND HIGHER EDUCATION IN FUNCTION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT (SED 2025). – 2025. – T. 14. – pp. 1-9.
14. Li, Z. (2021). *Comparison between common virtualization solutions: VMware Workstation, Hyper-V and Docker* // 2021 IEEE 3rd International Conference on Frontiers Technology of Information and Computer (ICFTIC). – IEEE, 2021. – pp. 701-707.
15. Kavitha, B., & Varalakshmi, P. (2017). *Performance analysis of virtual machines and docker containers* // International Conference on Data Science Analytics and Applications. – Singapore: Springer Singapore, 2017. – pp. 99-113.