

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: 2025 Issue: 12 Volume: 152

Received: 25.12.2025
Accepted/Published: 30.12.2025 <https://T-Science.org>

Issue

Article



Egor Plekhanov
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 WORKSTATION AND ORACLE VIRTUALBOX HYPERVISORS ON WINDOWS OS

Abstract: The article is devoted to performance testing of virtual machines using VMware Workstation and Oracle VirtualBox hypervisors on Windows OS. The study developed a comprehensive methodology for testing the performance of key system components (processor, RAM, disk subsystem, 2D graphics) under various loads (1, 2 and 3 simultaneously running virtual machines). An analysis of absolute performance indicators and normalized values relative to the host system was carried out. Fundamental architectural differences in virtualization approaches have been identified: VMware demonstrates a strategy focused on maximum performance of critical components, especially the disk subsystem (up to 34.2% of host performance) and 2D graphics (up to 75.4%), while VirtualBox focuses on efficient memory management (up to 74.8% of host performance). The hypothesis about the nonlinear nature of performance scaling with an increase in the number of virtual machines has been confirmed. Based on the results obtained, practical recommendations are formulated for choosing a hypervisor depending on specific tasks.

Key words: virtualization, hypervisors, performance, VMware Workstation, Oracle VirtualBox, comparative analysis, scalability, hardware virtualization, performance testing.

Language: Russian

Citation: Plekhanov, E., & Sergeev, A. (2025). Performance testing of virtual machines using VMware Workstation and Oracle VirtualBox hypervisors on Windows OS. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (152), 106-113.

Soi: <https://s-o-i.org/1.1/TAS-12-152-18> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2025.12.152.18>
Scopus ASCC: 1700.

СПРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИПЕРВИЗОРОВ VMWARE WORKSTATION И ORACLE VIRTUALBOX ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОС WINDOWS

Аннотация: Статья посвящена тестированию производительности виртуальных машин при использовании гипервизоров VMware Workstation и Oracle VirtualBox при использовании ОС Windows. В исследовании разработана комплексная методика тестирования производительности ключевых компонентов системы (процессор, оперативная память, дисковая подсистема, 2D-графика) при различной нагрузке (1, 2 и 3 одновременно работающие виртуальные машины). Проведен анализ абсолютных показателей производительности и нормированных значений относительно хостовой системы. Выявлены фундаментальные архитектурные различия в подходах к виртуализации: VMware демонстрирует стратегию, ориентированную на максимальную производительность критических компонентов, особенно дисковой подсистемы (до 34,2% от хостовой производительности) и 2D-графики (до 75,4%), в то время как VirtualBox фокусируется на эффективном управлении оперативной памятью (до 74,8% от хостовой производительности). Подтверждена гипотеза о нелинейном характере масштабирования

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

производительности при увеличении числа виртуальных машин. На основе полученных результатов сформулированы практические рекомендации по выбору гипервизора в зависимости от конкретных задач.

Ключевые слова: виртуализация, гипервизоры, производительность, VMware Workstation, Oracle VirtualBox, сравнительный анализ, масштабируемость, аппаратная виртуализация, тестирование производительности.

Введение

Технология виртуализации стала фундаментальным компонентом современной ИТ-инфраструктуры, обеспечивая эффективное использование аппаратных ресурсов, изоляцию сред выполнения и гибкость развертывания приложений [1]. В условиях роста популярности гибридных рабочих мест и распределенных команд виртуализация рабочих станций приобретает особую значимость, позволяя создавать воспроизводимые и переносимые среды разработки, тестирования и обучения [2]. Однако выбор конкретного решения для настольной виртуализации представляет собой сложную задачу, требующую взвешенной оценки компромисса между производительностью, функциональностью и простотой использования [3].

В настоящее время на рынке представлены два доминирующих решения для настольной виртуализации на платформе Windows: VMware Workstation и Oracle VirtualBox. Несмотря на широкую распространенность обоих гипервизоров, вопрос о сравнительной эффективности их архитектур и производительности в различных сценариях нагрузки остается недостаточно изученным в контексте современных аппаратных платформ и версий программного обеспечения. Существующие исследования либо имеют значительный возраст [4], либо фокусируются на специализированных аспектах, таких как производительность файловых систем [5; 6; 7], не давая комплексной картины.

Целью настоящего исследования является разработка комплексной методики и проведение сравнительного анализа производительности виртуальных машин под управлением гипервизоров VMware Workstation 17 Pro и Oracle VirtualBox 7.1.12 на платформе Windows 10/11. Исследование ставит задачи оценить производительность ключевых компонентов системы (процессор, оперативная память, дисковая подсистема, 2D-графика) при различной нагрузке (1, 2 и 3 одновременно работающие ВМ), проанализировать влияние аппаратных оптимизаций виртуализации и выявить фундаментальные архитектурные факторы, определяющие разницу в производительности.

Актуальность работы обусловлена практической необходимостью предоставления разработчикам, системным администраторам и

ИТ-менеджерам объективных данных для обоснованного выбора платформы виртуализации, соответствующей конкретным рабочим нагрузкам и бюджетным ограничениям. Результаты исследования будут способствовать более эффективному проектированию виртуальных инфраструктур и оптимизации использования вычислительных ресурсов.

1. Методология исследования

1.1. Конфигурация тестового стенда

Исследование проводилось на ноутбуке HONOR BMH-WCX9 со следующей конфигурацией:

- Процессор: AMD Ryzen 5 5500U (6 ядер, 12 потоков) с поддержкой аппаратной виртуализации AMD-V.
- Оперативная память: 16 ГБ DDR4, 3200 МГц.
- Дисковая подсистема: NVMe SSD Samsung 970 EVO Plus 1TB.
- Хостовая ОС: Microsoft Windows 11 Home 24H2 (сборка 26100).

Данный набор компонентов представляет собой типичную конфигурацию современного коммерческого оборудования (Commercial Off the Shelf - COTS), широко используемого для рабочих станций [8].

1.2. Параметры виртуальных машин и гипервизоров

Для обеспечения корректности сравнения были созданы идентичные виртуальные машины в каждой из тестируемых сред (табл. 1). Во всех случаях использовалась гостевая ОС Microsoft Windows 10 Professional x64.

Конфигурация гипервизоров:

- Oracle VirtualBox 7.1.12: Установлены гостевые дополнения (Guest Additions). Контроллер диска – SATA (AHCI). Проведены две серии тестов: базовая (настройки по умолчанию) и оптимизированная (включена опция "Virtualize AMD-V/RVI" – Nested Paging).
- VMware Workstation 17 Pro: Установлены VMware Tools. Контроллер диска эмулируется как NVMe. Аналогично проведены тесты в базовой и оптимизированной конфигурации (включена опция "Virtualize Intel VT-x/EPT or AMD-V/RVI").

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 1. Конфигурация виртуальных машин

Параметр	Значение
Оперативная память	4096 МБ
Количество виртуальных процессоров	2
Размер виртуального диска	50 ГБ (фиксированный формат)
Видеопамять	128 МБ
Сетевой адаптер	NAT

1.3. Методика тестирования и инструментарий

Методика тестирования разработана в соответствии с принципами эффективного бенчмаркинга, включающими повторяемость, наблюдаемость и реалистичность [9]. Для всесторонней оценки производительности был выбран комплексный бенчмарк PassMark PerformanceTest 11.1, широко применяемый в сравнительных исследованиях виртуальных сред [2; 10].

Тестирование проводилось для трех сценариев нагрузки:

- 1 виртуальная машина – оценка базовой производительности в изолированном режиме.
- 2 одновременно работающие ВМ – оценка производительности под средней нагрузкой.
- 3 одновременно работающие ВМ – оценка масштабируемости и производительности под максимальной нагрузкой.

Каждый сценарий был выполнен 3 раза для усреднения результатов и минимизации случайных отклонений. Перед каждым тестовым прогоном ВМ восстанавливались из заранее созданного снимка "Clean State" для обеспечения идентичности начальных условий. Для многомашинных сценариев использовались клоны эталонной ВМ, что позволило избежать различий в конфигурации.

Измеряемые метрики:

- CPU Mark: Композитный показатель производительности процессора (целочисленные и вещественные операции, шифрование, сжатие).
- Memory Mark: Показатель скорости работы с оперативной памятью (чтение, запись, задержки).
- Disk Mark: Показатель производительности дисковой подсистемы (последовательные и случайные операции чтения/записи).
- 2D Graphics Mark: Показатель производительности 2D-графики (отрисовка интерфейсов, шрифтов, фильтры изображений).
- PassMark Rating: Сводный рейтинг общей производительности системы.

Выбор именно этих метрик обусловлен их репрезентативностью для оценки производительности типичных рабочих нагрузок на виртуальных рабочих станциях, таких как разработка программного обеспечения, работа с офисными приложениями и веб-серфинг [10; 11].

2. Результаты тестирования

2.1. Абсолютные показатели производительности

Результаты тестирования представлены в табл. 2 (базовая конфигурация) и табл. 3 (оптимизированная конфигурация). Все значения являются средними арифметическими по трем прогонам.

Таблица 2. Абсолютные значения производительности (базовые настройки)

Сценарий тестирования	CPU Mark	Memory Mark	Disk Mark	2D Graphics Mark	PassMark Rating
Хост-система	12537,4	2425,9	20516,4	292,9	7614,9
VMware 1 ВМ	4411,2	1378,8	6504,4	198,6	3160,0
VMware 2 ВМ	3678,2	1190,6	4974,6	100,7	2487,5
VMware 3 ВМ	2563,4	1024,8	3297,7	67,8	1773,6
VirtualBox 1 ВМ	3568,3	1679,8	2230,5	31,4	1661,1
VirtualBox 2 ВМ	3189,8	1324,4	1596,4	24,9	1312,8
VirtualBox 3 ВМ	2666,3	1145,1	1201,8	20,9	1044,1

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

Таблица 3. Абсолютные значения производительности (оптимизированные настройки, Nested Paging)

Сценарий тестирования	CPU Mark	Memory Mark	Disk Mark	2D Graphics Mark	PassMark Rating
VMware 1 BM (+opt)	4731,0	1507,0	7025,0	221,0	3422,0
VMware 2 BM (+opt)	3945,0	1302,0	5373,0	112,0	2694,0
VMware 3 BM (+opt)	2751,0	1132,0	3562,0	75,0	1921,0
VirtualBox 1 BM (+opt)	3750,0	1814,0	2409,0	34,0	1762,0
VirtualBox 2 BM (+opt)	3358,0	1424,0	1725,0	27,0	1374,0
VirtualBox 3 BM (+opt)	2818,0	1212,0	1329,0	23,0	1111,0

Таблица 4. Производительность относительно хоста (%)

Сценарий тестирования	CPU %	Memory %	Disk %	2D Graphics %	PassMark %
VMware 1 BM	35,2	56,8	31,7	67,8	41,5
VMware 2 BM	29,3	49,1	24,2	34,4	32,7
VMware 3 BM	20,4	42,2	16,1	23,2	23,3
VirtualBox 1 BM	28,5	69,2	10,9	10,7	21,8
VirtualBox 2 BM	25,4	54,6	7,8	8,5	17,2
VirtualBox 3 BM	21,3	47,2	5,9	7,1	13,7

2.2. Нормированные показатели производительности

Для наглядной оценки эффективности виртуализации все показатели были нормированы относительно производительности хостовой системы (табл. 4). Данный подход позволяет абстрагироваться от абсолютных значений и оценить относительные потери производительности, вносимые каждым гипервизором.

(Примечание: в оптимизированной конфигурации наблюдается прирост производительности на 5-10% по всем компонентам, но относительное распределение показателей между гипервизорами сохраняется.)

2.3. Влияние оптимизаций виртуализации

Включение аппаратной оптимизации Nested Paging (AMD-V/RVI) оказало дифференцированное влияние на производительность:

- Наибольший прирост наблюдался для оперативной памяти: +5,3 п.п. для VMware и +5,6 п.п. для VirtualBox. Это согласуется с исследованиями, показывающими, что Nested Paging минимизирует накладные расходы на трансляцию адресов.

- Производительность CPU увеличилась на 2,5 п.п. для VMware и 1,4 п.п. для VirtualBox.

- Дисковая подсистема показала универсальный прирост около 8,0% для обоих гипервизоров.

- Наибольший эффект для 2D-графики зафиксирован в VMware (+7,6 п.п.), что

объясняется улучшением работы с текстурами и буферами кадров.

Важно отметить, что оптимизации повысили абсолютные показатели, но не изменили фундаментальных закономерностей масштабирования при увеличении нагрузки. Степень падения производительности при переходе от 1 к 3 BM осталась практически неизменной.

2.4. Визуализация результатов

Для наглядного представления результатов были построены графики, иллюстрирующие ключевые тенденции.

Анализ рис. 1 показывает, что VMware Workstation демонстрирует значительное преимущество над Oracle VirtualBox во всех тестовых сценариях. В оптимизированной конфигурации с одной BM PassMark Rating VMware составляет 3422,0, что на 94% выше показателя VirtualBox (1762,0). При увеличении нагрузки до трех BM преимущество VMware сохраняется на уровне 73% (1921,0 против 1111,0).

Рис. 2 демонстрирует нелинейный характер падения производительности. В оптимизированной конфигурации PassMark Rating VMware снижается с 3422,0 до 1921,0 (-44%), а VirtualBox – с 1762,0 до 1111,0 (-37%). Данное наблюдение коррелирует с исследованиями семантического разрыва (semantic gap) в виртуализации, где накладные расходы растут быстрее, чем линейно, из-за необходимости координации между гипервизором и несколькими гостевыми ОС [12].

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

Лепестковая диаграмма (рис. 3) наглядно иллюстрирует архитектурные различия гипервизоров:

- VMware имеет значительно большие значения по осям Disk (34,2%) и 2D Graphics (75,4%).

- VirtualBox показывает лучшее значение по оси Memory (74,8%).

- Значения CPU близки (37,7% у VMware против 29,9% у VirtualBox).

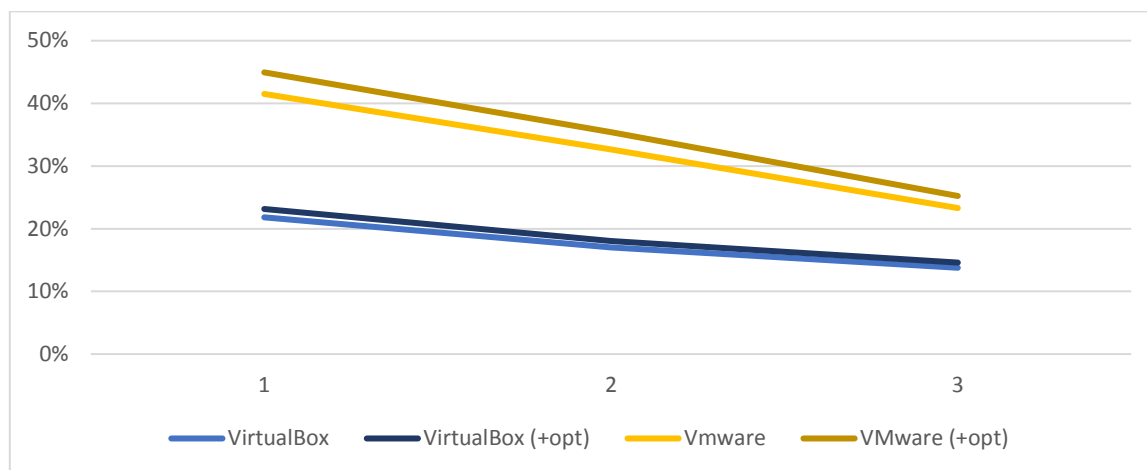


Рисунок 1. Сравнение общего рейтинга производительности (PassMark Rating).

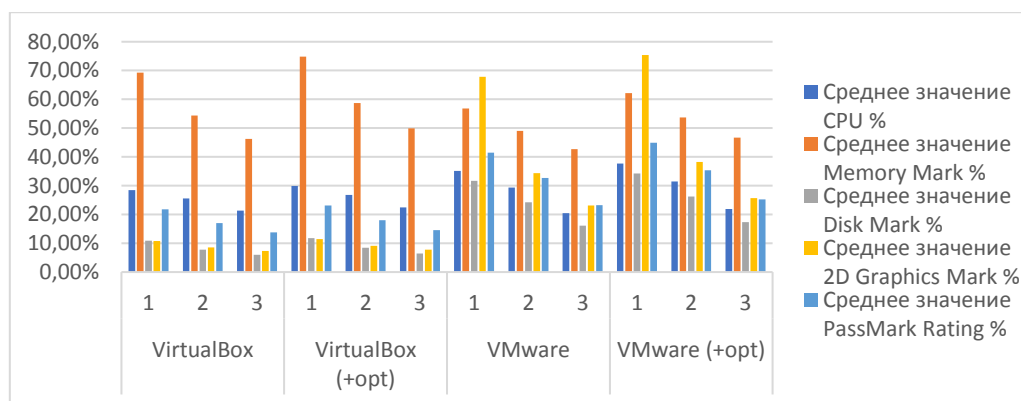


Рисунок 2. Динамика падения производительности при увеличении числа ВМ.

3. Обсуждение результатов

3.1. Анализ производительности компонентов системы

Полученные результаты выявляют фундаментальные различия в архитектурных подходах к виртуализации, реализованных в VMware Workstation и Oracle VirtualBox.

Производительность процессора. Оба гипервизора демонстрируют умеренные накладные расходы на виртуализацию CPU: производительность составляет 29,9-37,7% от хостовой. Это согласуется с современными

исследованиями, показывающими, что оверхед от виртуализации для вычислительных задач стал минимальным благодаря эффективному использованию аппаратных расширений AMD-V [2]. Незначительное преимущество VMware (7,8 п.п.) может объясняться более эффективными алгоритмами планирования виртуальных процессоров. Этот вывод согласуется с исследованием Осоко и Кунцевич, которые также обнаружили, что VMware Player работает примерно на 2% быстрее VirtualBox в среде Windows хоста [15].

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

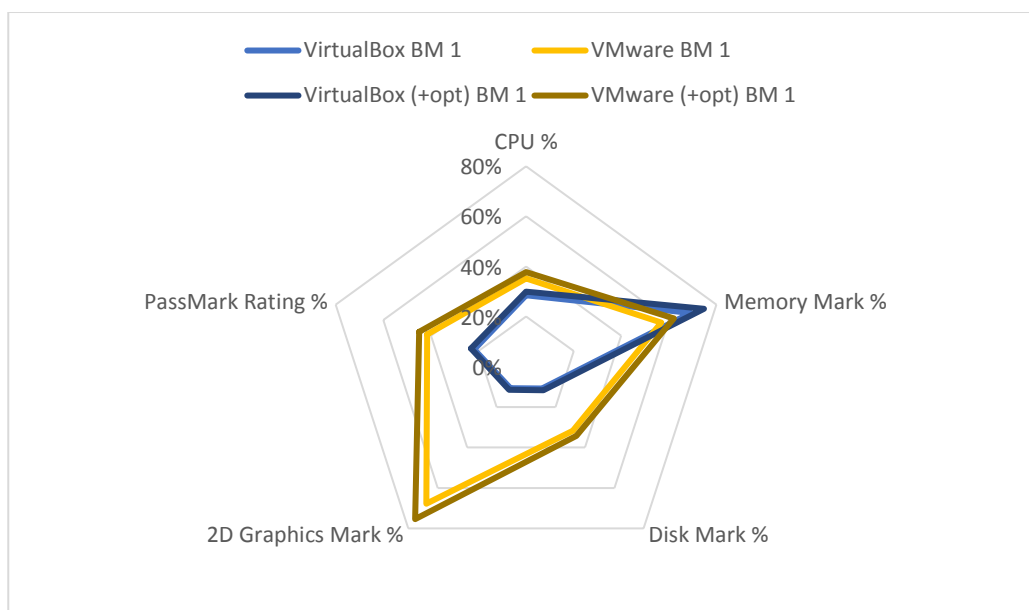


Рисунок 3. Лепестковая диаграмма сравнения компонентов для 1 VM (оптимизированная конфигурация).

Производительность оперативной памяти. Парадоксальным результатом является лучшее управление памятью в VirtualBox, который показывает на 12,7 п.п. более высокую относительную производительность (74,8% против 62,1%). Данное наблюдение противоречит стереотипу о технологическом превосходстве VMware, но находит подтверждение в других сравнительных исследованиях. Так, в работе [3] также отмечается, что Oracle VirtualBox демонстрирует лучшую общую пропускную способность операций с памятью. Это может объясняться более простой и оптимизированной моделью трансляции адресов в VirtualBox, особенно при работе с относительно небольшими объемами памяти (4 ГБ на VM в нашем исследовании).

Производительность дисковой подсистемы. Наиболее значительный разрыв наблюдается в тестах диска: VMware превосходит VirtualBox в 2,9 раза (34,2% против 11,7% от хостовой производительности). Этот результат полностью коррелирует с данными других исследований. В работе [5] VMware Workstation Player также показал наивысшую производительность файловой системы среди тестируемых гипервизоров 2-го типа. Причина этого различия кроется в архитектурных решениях: VMware эмулирует современный NVMe-контроллер, оптимизированный для работы с высокоскоростными накопителями, в то время как VirtualBox использует устаревшую архитектуру SATA (AHCI), разработанную для механических жестких дисков [13; 14]. Низкая производительность диска в виртуальных средах

является известной проблемой, подтверждаемой в различных исследованиях [8].

Производительность 2D-графики. Разрыв в производительности 2D-графики является максимальным – 6,5 раза в пользу VMware (75,4% против 11,6%). Это объясняется принципиально различными подходами к реализации графических возможностей. VMware использует драйверы SVGA с частичным аппаратным ускорением через интерфейсы DirectX, что позволяет делегировать часть вычислений физическому GPU. В противоположность этому, VirtualBox реализует полную программную эмуляцию графического адаптера VBoxSVGA, где все графические примитивы обрабатываются центральным процессором [3; 10]. Интересно, что подобный разрыв в графической производительности отмечался и в более ранних исследованиях [4].

3.2. Масштабируемость и влияние нагрузки

Важным аспектом исследования является анализ поведения гипервизоров при увеличении количества одновременно работающих виртуальных машин. Полученные данные подтверждают гипотезу о нелинейном характере масштабирования производительности в виртуализированных средах.

При переходе от 1 к 3 VM общая производительность (PassMark Rating) снижается на 44% для VMware и на 37% для VirtualBox. Это значительно меньше, чем пропорциональное снижение на 67%, которое соответствовало бы идеальному распределению ресурсов. Такое поведение объясняется эффективным кэшированием и алгоритмами планирования на

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

уровне гипервизора [12]. Однако падение производительности все же существенно, что свидетельствует о наличии серьезных накладных расходов при управлении несколькими ВМ.

Наибольшее относительное падение наблюдается в тестах 2D-графики VMware (-66%), что объясняется конкуренцией за доступ к физическим ресурсам графического процессора. VirtualBox, хотя и имеет значительно более низкую абсолютную производительность графики, демонстрирует меньшее относительное падение (-33%), так как его программная эмуляция менее чувствительна к конкуренции за специализированные графические ресурсы.

3.3. Практическая значимость результатов

Полученные результаты имеют непосредственное практическое значение для выбора гипервизора в различных сценариях использования:

- Для задач, критичных к производительности дисковой подсистемы (разработка ПО, работа с базами данных, компиляция проектов) предпочтительнее использовать VMware Workstation, который обеспечивает в 2,9 раза более высокую скорость операций с диском.

- Для задач с интенсивной работой с графическими интерфейсами (веб-разработка, тестирование GUI-приложений, работа с офисными пакетами) также рекомендуется VMware благодаря его 6,5-кратному преимуществу в 2D-графике.

- Для сценариев с высокими требованиями к оперативной памяти при работе с одной ВМ VirtualBox может быть предпочтительнее, так как демонстрирует на 12,7 п.п. лучшую производительность памяти.

При необходимости одновременного запуска нескольких ВМ следует учитывать, что производительность каждой машины будет снижаться нелинейно. Для сред с 3 и более одновременно работающими ВМ относительное преимущество VMware сокращается, но сохраняется.

Заключение

Проведенное сравнительное исследование производительности гипервизоров VMware Workstation и Oracle VirtualBox на платформе Windows позволило выявить фундаментальные архитектурные различия в их подходах к виртуализации и количественно оценить влияние этих различий на производительность ключевых компонентов системы.

Основные выводы исследования:

- VMware Workstation демонстрирует стратегию, ориентированную на максимальную

производительность критически важных компонентов, особенно дисковой подсистемы и 2D-графики. Его архитектура, включающая эмуляцию NVMe-контроллера и частичное аппаратное ускорение графики через драйверы SVGA, обеспечивает значительное преимущество в этих областях (в 2,9 и 6,5 раза соответственно по сравнению с VirtualBox).

- Oracle VirtualBox фокусируется на эффективном управлении оперативной памятью и предлагает более простую, но в некоторых случаях более эффективную модель трансляции адресов, что обеспечивает на 12,7 п.п. более высокую относительную производительность памяти по сравнению с VMware.

- Включение аппаратных оптимизаций виртуализации (Nested Paging) обеспечивает стабильный прирост производительности на 5-10% по всем компонентам, но не изменяет фундаментальных закономерностей масштабирования и соотношения производительности между гипервизорами.

- Масштабируемость производительности имеет нелинейный характер: при увеличении количества одновременно работающих ВМ с 1 до 3 общая производительность снижается на 37-44%, что существенно меньше пропорционального снижения, но все же указывает на значительные накладные расходы при управлении несколькими виртуальными средами.

- Выбор оптимального гипервизора должен определяться конкретными требованиями к производительности различных компонентов системы. Для задач, критичных к скорости диска и графики, рекомендуется VMware Workstation; для сценариев с высокими требованиями к памяти при работе с одной ВМ – Oracle VirtualBox.

Полученные результаты подтверждаются данными других современных исследований в области виртуализации [2, 3, 5, 10, 15] и вносят вклад в понимание компромиссов, связанных с выбором платформы для настольной виртуализации. Практическая значимость работы заключается в предоставлении объективных количественных данных, которые могут быть использованы при проектировании виртуальных инфраструктур и выборе инструментов виртуализации для различных рабочих нагрузок.

Перспективными направлениями дальнейших исследований могут быть: расширение сравнительного анализа на другие платформы виртуализации (Microsoft Hyper-V, Windows Subsystem for Linux), изучение производительности в специализированных сценариях (высоконагруженные сетевые среды, задачи машинного обучения), а также анализ энергоэффективности различных решений виртуализации.

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

References:

- Lozano, S., Lugo, J. T., & Carretero, J. (2023). A Comprehensive Survey on the Use of Hypervisors in Safety-Critical Systems. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. pp. 36244-36263. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3264825.
- Silva, D., Rafael, J., & Fonte, A. (2023). Virtualization Maturity in Creating System VM: An Updated Performance Evaluation. *Journal of Electrical and Computer Engineering Research*. 2023. Vol. 3, № 2. pp. 12-15.
- Reddy, N., Nadesh, R.K., Perumal, R.S., Mallela, N.C., & Arivuselvan, K. (2022). *Performance Evaluation and Comparison of Hypervisors in a Multi-Cloud Environment. Operationalizing Multi-Cloud Environments: Technologies, Tools and Use Cases* / Ed. by R. Nagarajan, P. Raj, R. Thirunavukarasu. (pp. 217-236). Cham: Springer.
- Krenev, I.S., & Vdovin, A.Yu. (2018). *Sravnenie maksimal'noj proizvoditel'nosti naibolee populyarnykh neavtonomnykh gipervizorov*. [Sbornik nauchnykh trudov], 2018, pp. 175-181.
- Dordević, B., Jovičić, I., Kraljević, N., & Timčenko, V. (2022). *Comparison of type-2 hypervisor performance on the example of VirtualBox, VMware Workstation player and MS Hyper-V*. Proceedings of the IX International Conference IcETRAN, Novi Pazar, Serbia, 6-9 June 2022, pp. 1-6.
- Dordević, B., Kraljević, N., & Kuk, K. (2024). *Impact of different hypervisor versions on the file system performance: case study with VirtualBox*. Proceedings of the 23rd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 2024, pp. 1-6.
- Dordević, B., Gucunja, S., Kraljević, N., & Davidović, N. (2023). *Performance comparison of different hypervisor versions of the type-2 hypervisor VirtualBox*. Proceedings of the 10th International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (IcETRAN), East Sarajevo, 5-8 June 2023, P. 1-6.
- Hyryläinen, L. (2024). *Performance Comparison of Different Virtualization Methods on Commercial Off the Shelf Hardware : master's thesis* / L. Hyryläinen; University of Oulu, Oulu, 2024, 54 p.
- Gregg, B. (2023). *Proizvoditel'nost' sistem* / B. Gregg ; per. s angl, 2-e izd, SPb.: Piter, 2023, 992 p., (Seriya «Dlya professionalov»), ISBN 978-5-4461-1818-2.
- Balen, J., Vdovjak, K., & Martinović, G. (2020). Performance evaluation of windows virtual machines on a Linux host. *Automatika*. 2020. Vol. 61. No. 3. pp. 425-435. DOI: 10.1080/00051144.2020.1775961.
- Giallorenzo, S., Mauro, J., Poulsen, M. G., & Siroky, F. (2021). Virtualization Costs: Benchmarking Containers and Virtual Machines Against Bare-Metal. *SN Computer Science*, 2021, Vol. 2, Art. 404, DOI: 10.1007/s42979-021-00781-8.
- Wang, Q., Xia, H., Zhang, K., & Tu, B. (2022). *Evaluation and Optimization on Virtualization Performance Cost under Semantic Gap*. Proceedings of the 2022 IEEE 25th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). 2022. pp. 1-6.
- Chen, Y., Chen, Y., Chen, J., et al. (2023). *High-performance and Scalable Software-based NVMe Virtualization Mechanism with I/O Queues*. arXiv preprint arXiv:2304.05148v1, 2023, 14 p.
- Peng, B., Yao, J., Dong, Y., & Guan, H. (2020). MDev-NVMe: Mediated Pass-Through NVMe Virtualization Solution With Adaptive Polling. *IEEE Transactions on Computers*, 2022, Vol. 71, No. 2, P. 251-265, DOI: 10.1109/TC.2020.3045785.
- Osoko, S.A., & Kunchovich, S.V. (2023). *Vliyanie tekhnologii virtualizatsii na skorost' raboty virtual'nykh mashin*. [Sbornik materialov konferentsii BGTU], (pp. 156-160). Minsk: BGTU.