

1.1. Оптимизация стоимости ИТ-инфраструктуры в высокопроизводительных средах виртуализации при помощи адаптивной модели управления

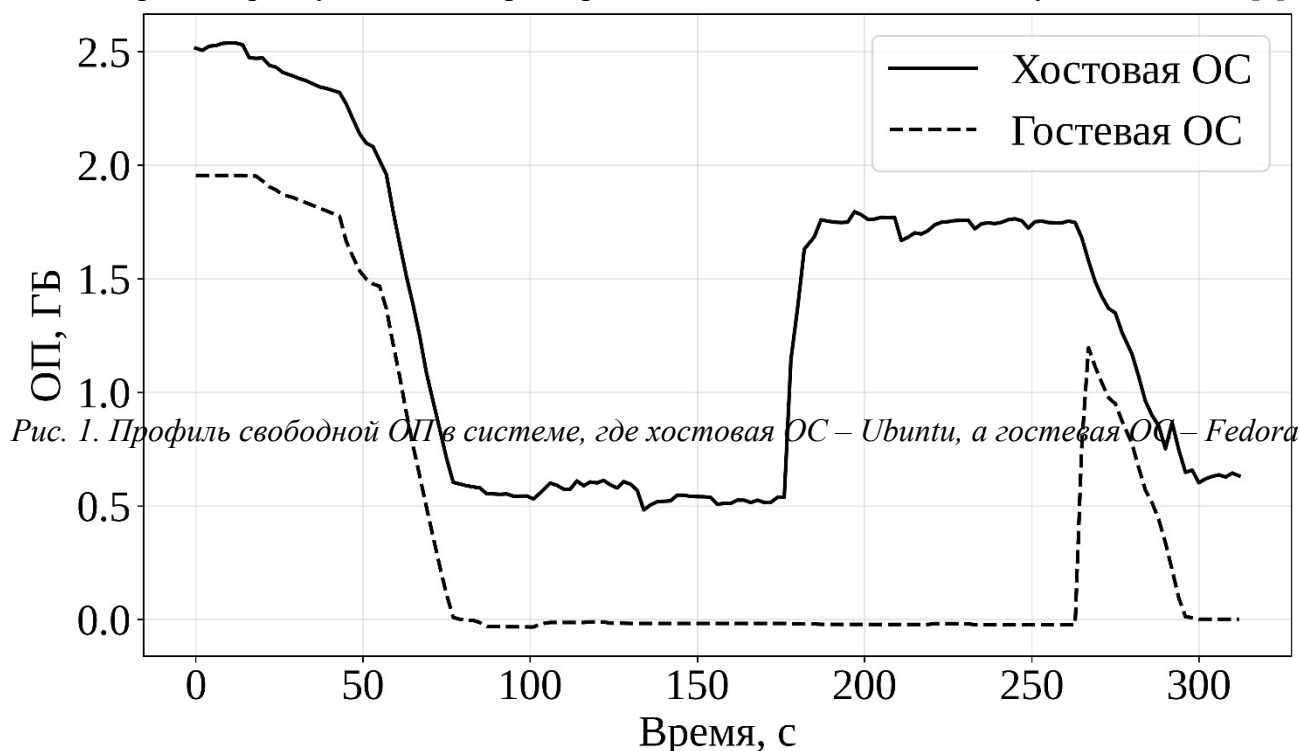
А.О. Ферубко, О.Д. Казаков

Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия

Целью данной работы является оценка экономической эффективности внедрения адаптивной модели управления гипервизором КVM в инфраструктуре облачного провайдера Selectel. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения рентабельности облачных услуг в условиях переменной пользовательской нагрузки, задачами импортозамещения в сфере ИТ-инфраструктуры, а также интересом к использованию отечественных инфраструктурных решений, основанных на программном обеспечении с открытым исходным кодом. В работе рассматриваются ограничения традиционного подхода к резервированию вычислительных ресурсов, ориентированного на пиковые нагрузки, что приводит к их систематическому недоиспользованию. В качестве альтернативы анализируется адаптивная модель управления, предполагающая динамическое перераспределение ресурсов виртуальных машин в зависимости от текущего профиля нагрузки. Исследование основано на анализе открытых данных тарификации провайдера и формализации расчётов стоимости предоставления виртуальной инфраструктуры с учётом фиксированных и переменных издержек. Выведены аналитические зависимости между коэффициентом утилизации ресурсов и экономическим эффектом от применения адаптивного управления. Определён порог рентабельности, при превышении которого внедрение адаптивной модели становится экономически оправданным. Проанализированы факторы, влияющие на совокупную стоимость владения виртуальной инфраструктурой, включая динамику нагрузки и характер использования ресурсов виртуальными машинами. Сформулированы рекомендации по проектированию виртуальных сред, направленные на снижение удельных издержек. Показана экономическая целесообразность применения адаптивной модели управления гипервизором в среднесрочной перспективе.

Введение

В современных экономически непростых условиях, вызванных глобальными вызовами и санкционным давлением [1], развитие отечественной ИТ-инфраструктуры приобретает важное экономическое значение [2]. В условиях эпохи цифровой экономики [3] следует обращать особое внимание на программное обеспечение (ПО) с открытым исходным кодом (open source [4]), а не на проприетарное ПО, поскольку ПО с открытым исходным кодом можно в случае необходимости поддерживать без особых потерь и использовать в качестве основы для собственных разработок, примером чего может служить [5]. Одним из ключевых элементов ИТ-инфраструктуры являются гипервизоры [6], которые помогают оптимизировать затраты бизнеса [7], и играют важную роль в обороне страны [8] и банковском секторе [9]. Также среди преимуществ гипервизоров является высокая отказоустойчивость [7].



Гипервизоры бывают разными. Они отличаются степенью взаимодействия с аппаратным обеспечением. Гипервизоры первого типа могут напрямую взаимодействовать с аппаратным обеспечением. Гипервизором второго типа необходима основная (хостовая) операционная система (ОС) для взаимодействия с аппаратным обеспечением [10]. Также выделяют группу гибридных гипервизоров [11] – им необходима хостовая ОС, но при этом у них есть набор драйверов для прямого взаимодействия с аппаратным обеспечением, что даёт им осуществлять некоторые операции напрямую [10]. Гипервизоры первого типа являются более производительными, так как отсутствует дополнительный слой абстракций в виде хостовой ОС, поэтому с экономической точки зрения, производительные системы виртуализации выгоднее строить с применением гипервизоров первого типа. Существует немало гипервизоров первого типа. Среди них KVM [12], Xen [13], Shyper [14], Rust-Shyper [15]. У каждого из них есть как свои плюсы, так и минусы. Например, Rust-Shyper написан на языке программирования Rust, который позволяет безопасно работать с памятью [16], но, небогатая экосистема, мешают ему занять достойное место. Xen отличается повышенной сложностью, как минимум потому, что там есть 4 вида виртуальных машин, что усложняет работу с ним [13]. Shyper тоже не отличается простотой, так как его создатели вдохновлялись концепциями Xen. KVM [12] является одним из наиболее распространённых гипервизоров. Он заслужил свою популярность отчасти благодаря тому, что использует ядро Linux, из-за чего он хорошо совместим с отечественными ОС, которые основаны на Linux [17]. Также этот гипервизор имеет хорошие эксплуатационные характеристики, относительно прост в обслуживании (как

минимум проще своего прямого конкурента – Xen), имеет высокую производительность и низкую задержку при работе с гостевыми ОС [18]. Для эмуляции аппаратного обеспечения вместе с KVM часто применяют QEMU [19]. Но, для него существует дефицит адаптивных систем управления ресурсами, в частности оперативной памятью (ОП). Из-за чего могут возникать сценарии неэффективного использования ОП [20]. На рисунке 1 представлен пример реального профиля свободной ОП в системе с гипервизором KVM, где в роли хостовой ОС выступает Ubuntu 24.04, в роли гостевой ОС – Fedora Linux 40. На участке с 70 с, до 260 с (рис 1) можно наблюдать ситуацию, когда гостевая ОС испытывает дефицит ОП (у неё нет свободной ОП), и в это самое время хостовая ОС имеет некий объём свободной ОП. Такие сценарии возможны и на системах большего масштаба, что приводит к неэффективному использованию ресурсов. Но, ущерб от них можно уменьшить, если применять адаптивные системы управления ресурсами, которые в режиме реального времени занимались бы перераспределением ресурсов между различными подсистемами. Современные ОС имеют функционал для изменения объёма ОП без перезагрузки, что позволяет внедрять системы адаптивного управления гипервизорами, которые могли бы производить перераспределение ОП на основе прогноза потребления в режиме реального времени [20]. Для таких моделей могли бы быть использованы модели на основе линейной регрессии [21] и временных рядов [22]. При этом потенциал таких адаптивных систем часто рассматривается лишь с технической и математической сторон, тогда как их экономическая эффективность – прямая экономия на оборудовании, энергопотреблении – остаётся без количественной оценки. Для обоснования инвестиций в подобные решения необходимы конкретные модели расчёта, связывающие алгоритмические улучшения с финансовыми показателями. Целью данной работы является количественная оценка экономического эффекта от применения адаптивной модели управления гипервизором KVM для оптимизации стоимости ИТ-инфраструктуры.

Материалы и методы

Продемонстрировать экономический эффект от внедрения адаптивной системы управления решил на примере компании Selectel, как одной из крупнейших компаний в России на рынке «Инфраструктура как услуга» [23], а также потому что одной из их услуг является аренда серверов с KVM, причём есть указание того, что используется именно KVM. У многих провайдеров, пользуются успехом продукты компании VMware. Например, тот же timeweb.cloud предлагает именно VMware [24], но, так как разработки этой компании проприетарные по большей части, то её продукты не надёжно использовать для создания отечественных решений, поскольку из-за отсутствия в свободном доступе исходного кода, нет возможности кастомизации. У некоторых, провайдеров не удалось найти информацию о том, какой гипервизор применяется. Кроме того, у Selectel есть онлайн калькулятор стоимости [25], что существенно упрощает задачу. В cloud.ru тоже есть KVM, но там стоимость доступна только по запросу или в фиксированных тарифах [26], что не даёт изучить отдельно стоимость ОП. Поэтому выбрали Selectel.

Результаты

Первым делом попытались выяснить зависимость стоимости от объёма ОП. Для этого рассчитали первую производную [27] стоимости от объёма ОП по формуле:

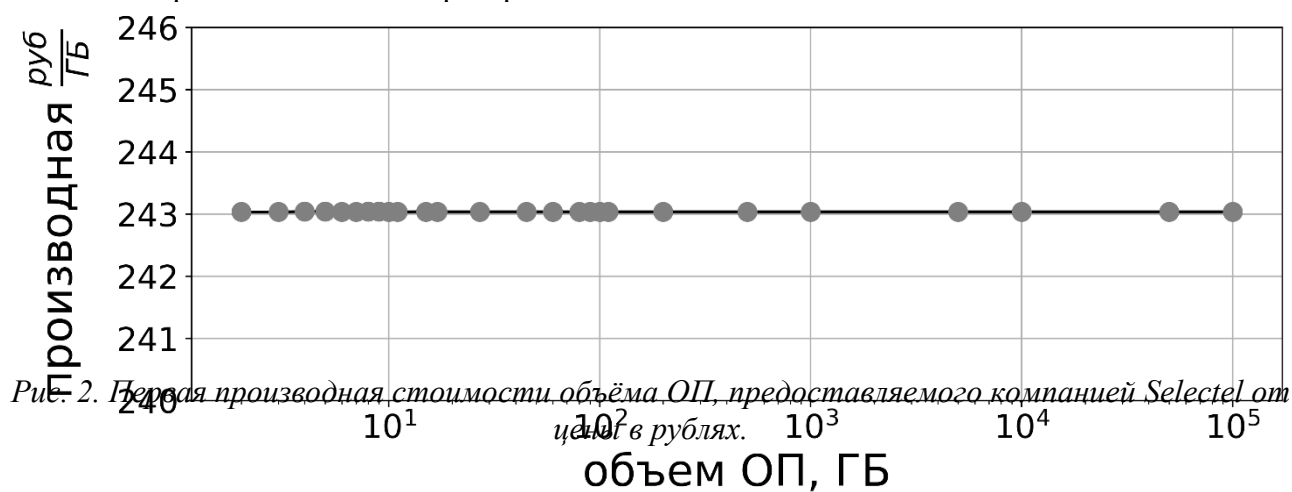
$$f'(x) = \frac{f(x+k) - f(x-l)}{k+l}$$

и изображали значения производной на рис 2, с использованием по оси абсцисс логарифмического масштаба для наглядности, так как объём ОП можно менять от 1 до 200000 ГБ. Из анализа рис 2, можно сделать вывод о том, стоимость услуг имеет линейную зависимость от объёма ОП, при условии неизменяемости остальных параметров. Затем при помощи метода наименьших квадратов [28] определил законы связи между ценой и объёмом ОП:

$$\text{цена} = 243.04 * \text{объём ОП} + 714.22$$

$$\text{объём ОП} = 0.004115 * \text{цена} - 2.94$$

Также из анализа уравнений можно сделать вывод, что может быть выгоднее минимизировать количество ВМ, чтобы не переплачивать 714.22 руб за каждую, при условии, что решаемая задача позволяет использовать одну ВМ вместо нескольких, например при разворачивании нескольких реплик stateless микросервиса. Оптимизационный потенциал адаптивных моделей

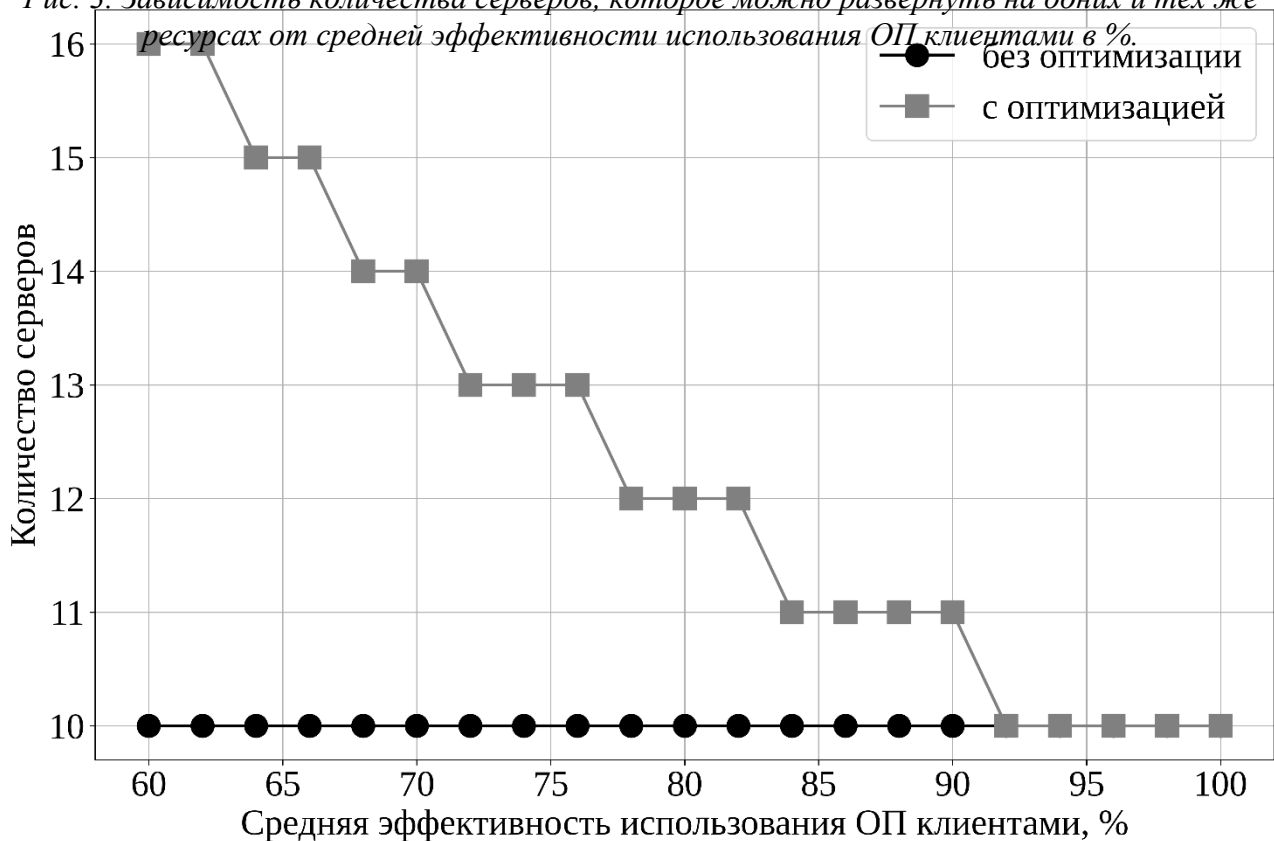


управления обратно пропорционально зависит от среднего процента использования клиентами этих ресурсов. Ведь далеко не всегда клиент использует ресурсы провайдера на 100%, например, приложение не всегда потребляет максимум ресурсов (зачастую берут больше ресурсов, на случай увеличения потока пользователей), или пользователь сервисов удалённых рабочих столов может уйти куда-нибудь, оставив подключение к удалённому рабочему столу (в этот момент, его ресурсы простаивают). Для демонстрации зависимости количества одинаковых виртуальных серверов, которые можно развернуть на одних и тех же ресурсах от средней эффективности использования ОП клиентами сделали рис 3. При построении рис 3 пользовались формулой:

$$N = \frac{N_{\text{без}} * 100}{p}$$

где N – количество серверов, которое можно развернуть, если применить модель оптимизации, $N_{\text{без}}$ – количество серверов, без применения оптимизации, p – средняя эффективность использования ОП клиентами в процентах. Возможности адаптивной модели управления также зависят от того, сколько ресурсов на конкретной ВМ. Например, если взято минимально возможное количество ресурсов, то применение модели не имеет смысла. Также надо учитывать то, что у ОС есть минимальные системные требования, поэтому адаптивные модели управления должны содержать данное ограничение. Сперва определялась зависимость объёма ОП, при котором в применении адаптивной модели появляется смысл от средней эффективности использования клиентами ресурсов (см рис 4). При построении рис 4 учитывали, что в Selectel размер минимального шага изменения ОП составляет 1 ГБ. Применение адаптивной модели управления имеет экономический смысл в области выше чёрной линии на рис 4. Сам график на рис 4 можно разделить на две области – первая (до 51%) является константой, потому что при 2 ГБ ОП и потреблении ресурсов меньше 50%, если адаптивная модель решит оставить всего 1 ГБ, то система сохранит работоспособность. Причём, не важно 50% или 5%, всё равно меньше 1 ГБ поставить нельзя, так как это минимально возможное количество ОП, которое можно взять в Selectel для виртуальных серверов с KVM. И рядом с этой цифрой находятся минимальные системные требования ОС на базе Linux. Вторая часть графика – начиная с 51% не линейна. Это связано с тем, что относительно небольшая доля, на которую адаптивная модель может уменьшить объём ОП без потери работоспособности, должна соответствовать объёму больше 1 ГБ, из чего получается больший объём самой системы. Затем производил определение зависимости экономической выгоды при определённом среднем проценте использования ресурсов клиентами от объёма ОП, на основании чего строил рис 5. При построении рис 5 учитывал, что окно на Selectel составляет 1 ГБ, а также то, что доступный объём ОП варьируется от 1 до

рис. 3. Зависимость количества серверов, которое можно развернуть на одних и тех же ресурсах от средней эффективности использования ОП клиентами в %.



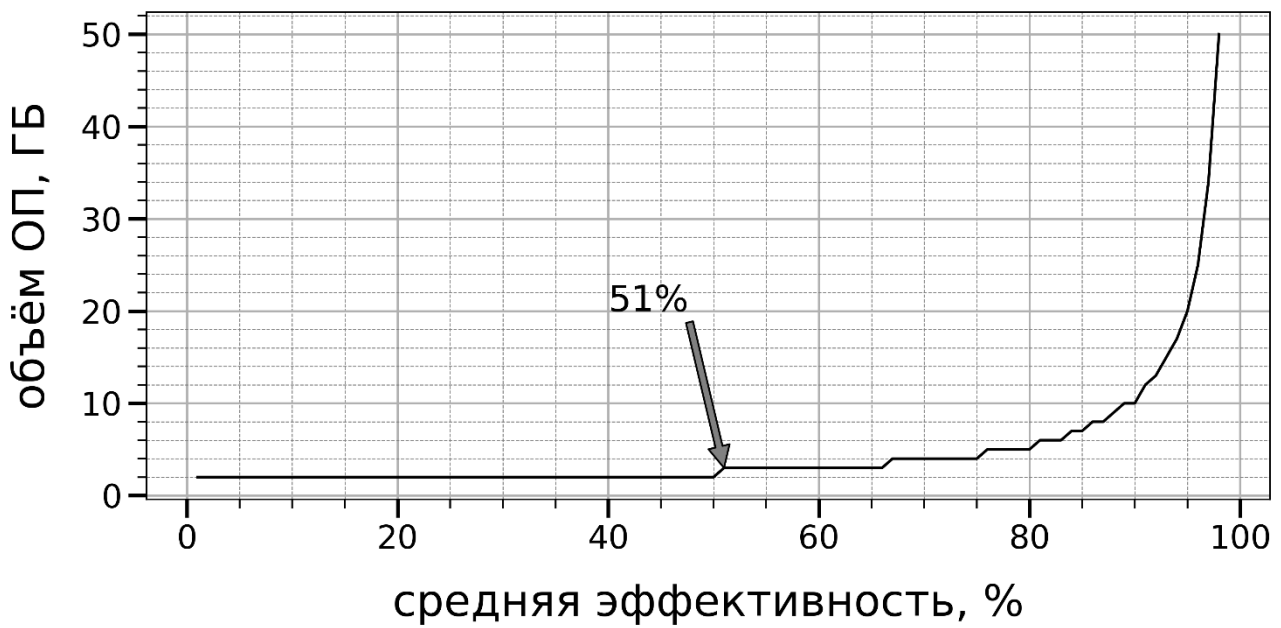
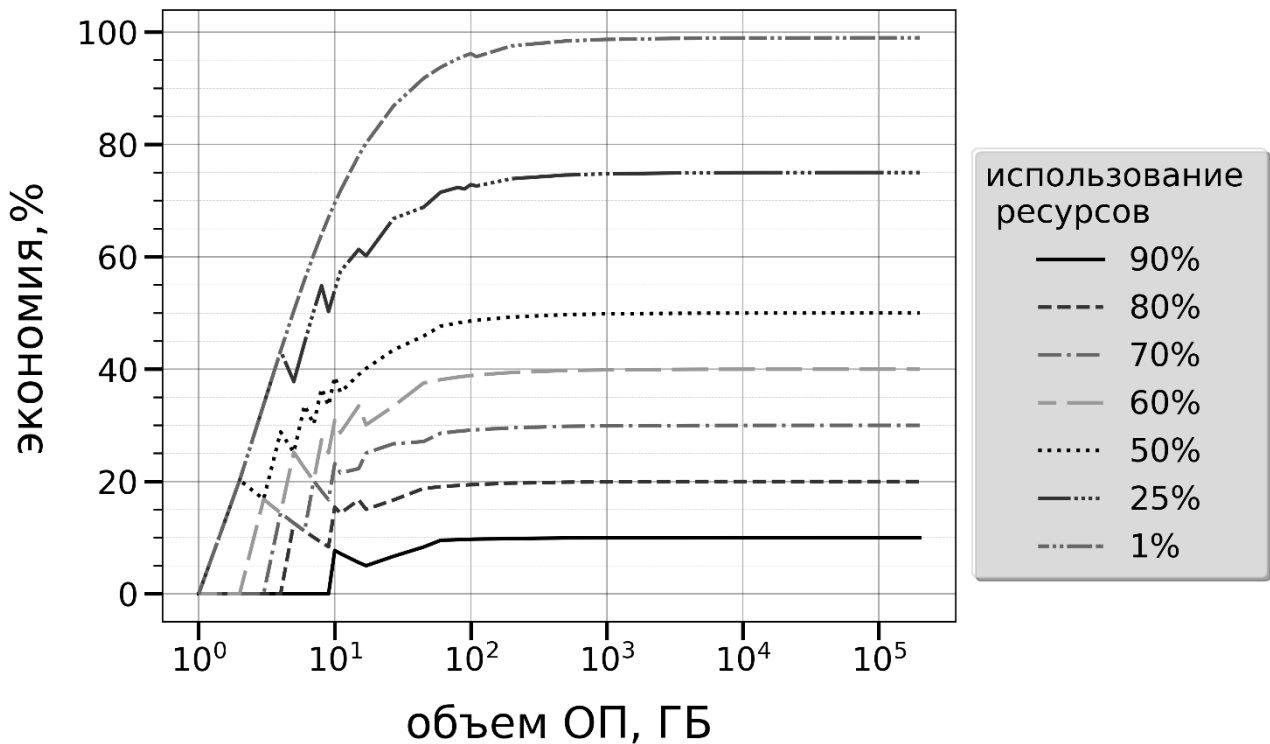


Рис. 4. Зависимость объема ОП в ГБ, необходимого для появления экономического выигрыша, от средней эффективности использования ресурсов клиентами.

200000 ГБ, поэтому по оси абсцисс рис 5 в логарифмической шкале. При построении рис 5, сперва производили расчёт того, до какого объема адаптивная модель уменьшит объем ОП (умножали объем на средний процент использования и делили на 100) с округлением до целого числа в большую сторону с последующим использованием полученного объема в линейной регрессии, результат которой округлял до копеек. Затем делил полученное значение на сумму, которую надо было платить без применения адаптивной модели и умножал на 100, чтобы использовать проценты. В итоге, получается числовой ряд, который при увеличении



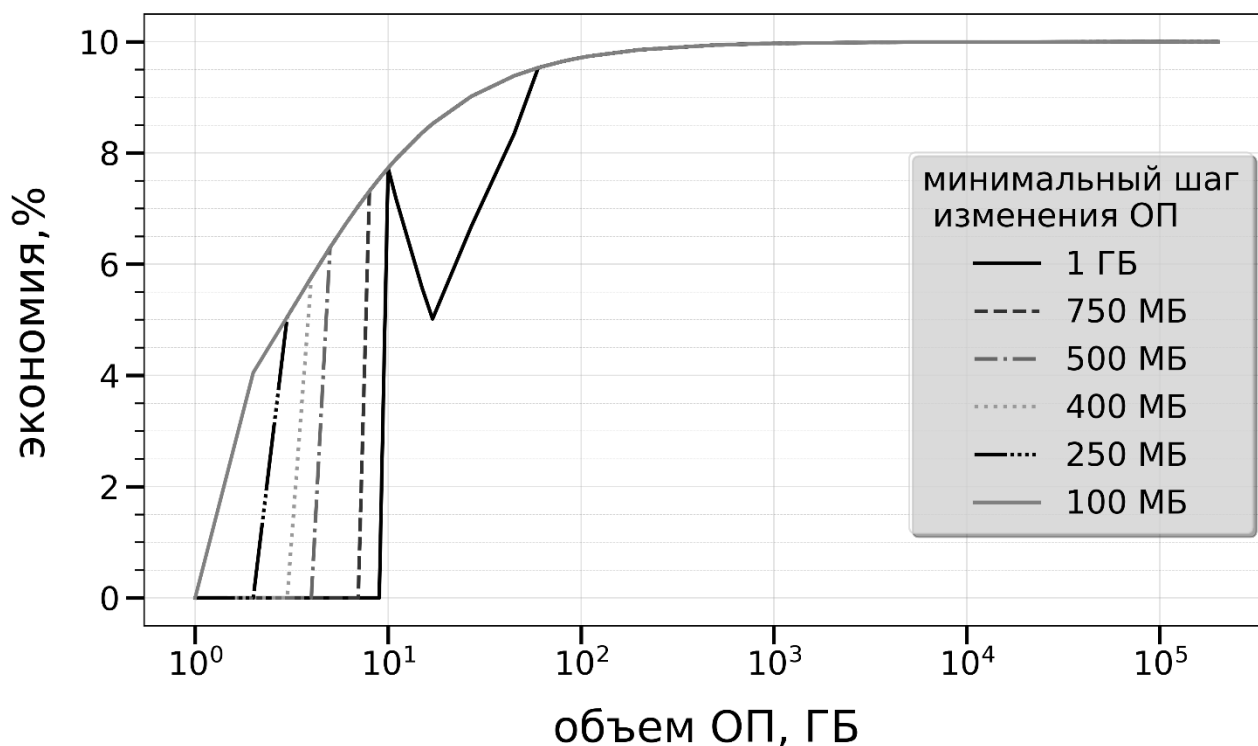


Рис. 6. Зависимость экономии в % от объема ОП в ГБ при различных значениях минимального шага изменения объема ОП.

объема ОП сходится к среднему проценту использования ресурсов клиентами. При малых значениях ОП графики выглядят негладко, так как округления вносят сильные относительные изменения в конечный результат. Также можно заметить, что чем выше процент использования клиентами ресурсов ВМ, тем быстрее сходится ряд. Например, ряд для 90% использования ресурсов приближается к 10% экономической выгоды при объеме ОП менее 100 ГБ, в то время как ряд для 1% использования ресурсов, приближается к 99% при объемах ОП сильно больших 100 ГБ. Экономический эффект зависит от величины минимального шага изменения ОП. Произвёл моделирование того, как изменится экономический эффект, если изменить минимальное значение изменения ОП, а также уйти от того, чтобы на ВМ объем ОП был натуральным числом, а не рациональным. Пример подобного моделирования для сценария, в котором средний процент использования клиентами ресурсов составляет 90% представил на рис 6. Из анализа рис 6 можно сделать вывод о том, что изменения минимального значения окна и снятие ограничений на натуральные значения ОП, позволило бы сильно понизить порог целесообразности применения адаптивной модели управления, а также сделать кривую экономического эффекта монотонно возрастающей. Учитывая, что клиенты довольно часто нуждаются в объеме ОП до 100 ГБ, уменьшение размера минимального шага изменения ОП может оказаться крайне важным именно для этого сегмента рынка.

Дискуссия

Результаты проведённого исследования позволяют сделать ряд важных выводов об экономической пользе адаптивных моделей управления гипервизором и об оптимизации затрат при использовании инфраструктуры компании Selectel. Полученные данные свидетельствуют о наличии выгоды от применения адаптивной модели управления гипервизором KVM, что подтверждается расчётами. На размер выгоды влияет средний процент использования ресурсов клиентами, ширина интервала изменения ОП, объём ОП на конкретной VM. Было продемонстрировано, что при увеличении объёма ОП VM размер экономической выгоды стремится к средней доле невостребованных ресурсов (в процентах). Иными словами, если коэффициент использования ресурсов клиентом равен 90%, то экономический эффект при увеличении объёма ОП будет стремиться к 10%. То есть экономический эффект обратно пропорционален средней эффективности использования клиентами ресурсов VM. Было обнаружено, что при малых (меньше 100 ГБ) объёмах ОП, экономический эффект обратно пропорционален размеру шага изменения ОП, так как уменьшение данного шага снижает границу применимости адаптивной модели управления и позволяет уменьшить объём излишков ресурсов. Было продемонстрировано, что адаптивная модель может принести выигрыш в числе VM для провайдеров. Адаптивная модель даёт возможность разворачивать больше VM на одни и тех же ресурсах, если средняя эффективность использования клиентами ресурсов не стопроцентная. Из полученных данных, следует ещё один вывод, который изначально не предполагался. выявлен новый способ оптимизации затрат при использовании инфраструктуры Selectel – уменьшение числа VM с увеличением ресурсов, там, где это архитектурно допустимо (например, для stateless [29] микросервисов), так как при оплате ресурсов идёт оплата не только самих ресурсов, но и фиксированной надбавки в размере 714 руб за VM, что при большом количестве VM может давать значительный эффект. Применение оптимизации архитектуры системы может усилить экономический эффект и стать важным аргументом при проектировании архитектуры.

Заключение

Подводя итоги по проведённому анализу экономической целесообразности применения адаптивных моделей управления гипервизорами, была определена и количественно оценена экономическая целесообразность применения адаптивных моделей управления на примере гипервизора KVM в облаке от компании Selectel. Анализ доказал их экономическую целесообразность. Однако, есть над чем работать. Из-за отсутствия в открытом доступе ряда данных, таких как данные о количестве VM в РФ и, в частности, в компании Selectel, точной доли каждой из компаний на рынке гипервизоров, а также ценообразования некоторых участников рынка, нет возможности оценить экономический эффект не в процентах, а в рублях. Также был получен один из приёмов оптимизации затрат при использовании гипервизоров от компании Selectel – а именно, при разработке продукта, по возможности, закладывать деление на максимально крупные элементы, так как была выявлена фиксированная надбавка, не зависящая от объёма ресурсов в размере 714 рублей.

Литература

1. Алексеев О.А. Комплексный анализ бюджетной устойчивости региона (на примере Ставропольского края) // Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством». 2025. № 4(66). С. 6–18. DOI: 10.6060/ivecofin.2025664.739
2. Пивнева С.В. и др. Тенденции развития российского рынка ИТ-услуг // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2025. № 2 (111). С. 123–132. DOI: 10.51965/2076-7919_2025_2_123
3. Азаренко Н.Ю., Михеенко О.В. Оценка готовности региональной инфраструктуры к формированию и развитию цифровой экономики // Вестник Самарского государственного экономического университета. Самара: Самарский государственный экономический университет, 2018. № 6(164). С. 23–29.

4. Sabanés Bové D. и др. The statistical software revolution in pharmaceutical development: challenges and opportunities in open source // *Drug Discovery Today*. 2026. Т. 31, № 2. С. 104613. DOI: 10.1016/j.drudis.2026.104613
5. Черемисин А.Н. Разработка технического решения для импортозамещения виртуальной инфраструктуры на основе облачной платформы Р-виртуализация // *Наукосфера*. 2022. № 2 (2). С. 122–125.
6. De Alfonso C., Calatrava A., Moltó G. Container-based virtual elastic clusters // *Journal of Systems and Software*. 2017. Т. 127. С. 1–11. DOI: 10.1016/j.jss.2017.01.007
7. Синицын А.С. Снижение затрат на информационные технологии посредством серверной виртуализации // *Вестник ИМСИТ*. 2016. № 2 (66). С. 23–26.
8. Лимонцев Д.С. Анализ российского рынка VDI-решений // Шарыгинские чтения: Международная научная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации. 2024. Т. 1, № 1. С. 417–423.
9. Николаев Д.Д. Внедрение системы виртуальных рабочих мест в инфраструктуру банка // *Научно-практический электронный журнал Аллея Науки*. 2018. Т. 2, № 5 (21). С. 106–110.
10. Zhao N. и др. Scheduling virtual machines and containers: A comparative review of techniques, performance, and future trends // *Journal of Systems Architecture*. 2025. Т. 168. С. 103583. DOI: 10.1016/j.sysarc.2025.103583
11. Шестаков К.А., Пузанов А.М., Куленцан А.Л. Виртуальные машины и их операционные системы // Сборник научных трудов вузов России «проблемы экономики, финансов и управления производством». Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2023. № 52. С. 150–155.
12. Abeni L., Faggioli D. Using Xen and KVM as real-time hypervisors // *Journal of Systems Architecture*. 2020. Т. 106. С. 101709. DOI: 10.1016/j.sysarc.2020.101709
13. Cinque M., De Simone L., Ottaviano D. Temporal isolation assessment in virtualized safety-critical mixed-criticality systems: A case study on Xen hypervisor // *Journal of Systems and Software*. 2024. Т. 216. С. 112147. DOI: 10.1016/j.jss.2024.112147
14. Shen Y. и др. Shyper: An embedded hypervisor applying hierarchical resource isolation strategies for mixed-criticality systems. Belgium, 2022. С. 1287–1292. DOI: 10.5555/3539845.3540148
15. Mo C. и др. Rust-Shyper: A reliable embedded hypervisor supporting VM migration and hypervisor live-update // *Journal of Systems Architecture*. 2023. Т. 142. С. 102948. DOI: 10.1016/j.sysarc.2023.102948
16. Зиновкин А.И., Полякова И.Н. Безопасная работа с памятью в Rust // Программирование и вычислительная математика, сборник материалов конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н.П. Трифонова. Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2025. С. 75–79. DOI: 10.55959/MSU012316-6-2025-75-79
17. Гуселетова А.Е. Обзор современных отечественных ОС Linux, их средства безопасности // «СТУДЕНТ: НАУКА, ПРОФЕССИЯ, ЖИЗНЬ» Материалы XII всероссийской студенческой научной конференции с международным участием. В 5-ти частях. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2025. Т. 2. С. 379–385.
18. Cinque M. и др. Virtualizing mixed-criticality systems: A survey on industrial trends and issues // *Future Generation Computer Systems*. 2022. Т. 129. С. 315–330. DOI: 10.1016/j.future.2021.12.002
19. Marinescu D. C. *Cloud Computing Theory and Practice*. Third Edition. USA: Elsevier, 2022. 653 с

20. Ферубко А.О., Казаков О.Д. Сравнительное исследование методов линейной регрессии для построения адаптивной системы управления в высокопроизводительных средах виртуализации. Рязань: Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета., 2026. № 95. С. 73–84. DOI: 10.21667/1995-4565-2026-95-73-84
21. Graña-Colubi J., González-Rodríguez G., Ramos-Guajardo A. B. Estimation of a simple linear regression model for random star-shaped sets // *Fuzzy Sets and Systems*. 2026. Т. 532. С. 109800. DOI: 10.1016/j.fss.2026.109800
22. Petrovic B. и др. Climate-adjusted time-series analysis of vegetation dynamics following pipeline disturbance and restoration: A proof-of-concept framework // *Ecological Indicators*. 2026. Т. 183. С. 114670. DOI: 10.1016/j.ecolind.2026.114670
23. Лукьянченко Е.Л., Ильяшенко О.Ю. Российский рынок облачных услуг // Актуальные проблемы социально-экономического развития общества сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции. Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2021. С. 73–76.
24. Страница сайта timeweb.cloud на которой предлагается облако VMware [Электронный ресурс]. 2026. URL: <https://timeweb.cloud/my/vmware>.
25. Онлайн калькулятор стоимости услуг хостинга от Selectel [Электронный ресурс] // Selectel. 2026. URL: https://selectel.ru/services/cloud/servers/kvm/?utm_medium=cpc&utm_source=yandex&utm_campaign=SRH-RUS-RG-M%2FCloud_Servers_Search&utm_term=kvm%20виртуальные%20серверы&utm_content=ch_yandex_direct%7Ccid_100902295%7Cgid_5481605817%7Cad_16419380611%7Cph_52788779014%7Crt_0%7Cpst_premium%7Cps_2%7Csret_search%7Csrc_one%7Cdevt_desktop%7Cret_52788779014%7Cgeo_213%7Ccf_0%7Cint_%7Ctgt_52788779014%7Cadd_no&mango=%7C%3A100902295%7Cg%3A5481605817%7Cb%3A16419380611%7Ck%3A52788779014%7Cst%3Asearch%7Ca%3Aano%7Cs%3Aano%7Ct%3Apremium%7Cp%3A2%7Cr%3A52788779014%7Creg%3A213%7Cnet%3A%7B%7D&etext=2202.902fodTupHJb8p16h8mC2Us8aaWCQ0dC_7oZhk2OgdvMXXIbAER1yJ9kB_ifoCO7YWlva2d4d3VxdWdoanh4Yg.e384ebb3852e245af53d4e38bccd4a18c3354351&yclid=8372125168980721663 (дата обращения: 14.02.2026).
26. Страница cloud.ru где предлагаются виртуальные сервера с KVM [Электронный ресурс]. 2026. URL: <https://cloud.ru/services/kvm-server>.
27. Xing X. и др. 2D HSQC-derived “dark forest” image with enhanced local resolution via first derivative processing–logarithmic cosine transformation (FDP–LCT): Demonstration on per-O-ethylated kappa- and iota-carrageenans // *Carbohydrate Research*. 2026. Т. 563. С. 109852. DOI: 10.1016/j.carres.2026.109852
28. Sundberg R. Small-sample and selection bias effects in multivariate calibration, exemplified for OLS and PLS regressions // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2006. Т. 84, № 1. С. 21–25. DOI: 10.1016/j.chemolab.2006.04.008
29. Lencse G. Making stateless and stateful network performance measurements unbiased // *Computer Communications*. 2024. № 225, С. 141-155. DOI: 10.1016/j.comcom.2024.05.018

References in Cyrillics

1. Alekseev O.A. Comprehensive analysis of regional fiscal sustainability (using the Stavropol region as an example) // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya «Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom»*. 2025. N 4(66). P. 6–18. DOI: 10.6060/ivecofin.2025664.739.
2. Pivneva S.V., et al. Trends in the development of the Russian IT services market // *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva*. 2025. N 2 (111). P. 123–132. DOI: 10.51965/2076-7919_2025_2_123.

3. Azarenko N.Yu., Mikheenko O.V. Assessment of regional infrastructure readiness to the formation and development of the digital economy // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. Samara: Samarskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet. 2018. N 6(164). P. 23–29.
4. Cheremisin A.N. Development of a technical solution for import substitution of virtual infrastructure on the R-Virtualization cloud platform // Naukosfera. 2022. N 2 (2). P. 122–125.
5. Sinitsyn A.S. Reducing information technology costs through server virtualization // Vestnik IMSIT. 2016. N 2 (66). P. 23–26.
6. Limonze D.S. Analiz rossijskogo rynka VDI-reshenij // Sharyginskie chteniya: Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya vedushchih nauchnyh shkol v oblasti radiolokacii, radionavigacii i radioelektronnyh sistem peredachi informacii. 2024. Vol. 1, N 1. P. 417–423.
7. Nikolaev D.D. Implementation of the virtual workplace system in the bank's infrastructure // Nauchno-prakticheskij elektronnyj zhurnal Alleya Nauki. 2018. Vol. 2, N 5 (21). P. 106–110.
8. Shestakov K.A., Puzanov A.M., Kulentsan A.L. Virtual machines and their operating systems // Sbornik nauchnyh trudov vuzov Rossii «problemy ekonomiki, finansov i upravleniya proizvodstvom». Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj himiko-tehnologicheskij universitet. 2023. N 52. P. 150–155.
9. Zinovkin A.I., Polyakova I.N. Safe memory handling in Rust // Programmirovaniye i vychislitel'naya matematika, sbornik materialov konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.P. Trifonova. Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj universitet im. M.V. Lomonosova. 2025. P. 75–79. DOI: 10.55959/MSU012316-6-2025-75-79.
10. Guseletova A.E. An overview of modern domestic Linux operating systems and their security features // «STUDENT: NAUKA, PROFESSIYA, ZHIZN'» Materialy XII vserossijskoj studencheskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. V 5-ti chastyah. Omsk: Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya. 2025. Vol. 2. P. 379–385.
11. Ferubko A.O., Kazakov O.D. Comparative study of linear regression methods to build adaptive management system in high-performance virtualization environments // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. 2026. N 95. P. 73–84. DOI: 10.21667/1995-4565-2026-95-73-84.
12. Lukyanchenko E.L., Ilyashenko O.Y. Russian cloud services market // Aktual'nye problemy social'no-ekonomicheskogo razvitiya obshchestva sbornik trudov po materialam III Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kerch': Kerchenskij gosudarstvennyj morskoy tekhnologicheskij universitet, 2021. P. 73–76.
13. The timeweb.cloud website page that offers the VMware cloud. 2026. URL: <https://timeweb.cloud/my/vmware>. (accessed: 14.02.2026).
14. Online cost calculator for hosting services from Selectel // Selectel. 2026. URL: https://selectel.ru/services/cloud/servers/kvm/?utm_medium=cpc&utm_source=yandex&utm_campaign=SRH-RUS-RG-M%2FCloud_Servers_Search&utm_term=kvm%20виртуальные%20серверы&utm_content=ch_yandex_direct%7Ccid_100902295%7Cgid_5481605817%7Cad_16419380611%7Cph_52788779014%7Crt_0%7Cpst_premium%7Cps_2%7Csrt_search%7Csrc_one%7Cdevt_desktop%7Cret_52788779014%7Cgeo_213%7Ccf_0%7Cint_%7Ctgt_52788779014%7Cadd_no&mango=%7C%3A100902295%7C%3A5481605817%7Cb%3A16419380611%7C%3A52788779014%7C%3Asearch%7Ca%3Aano%7Cs%3Aano%7Ct%3Apremium%7Cp%3A2%7Cr%3A52788779014%7Creg%3A213%7Cnet%3A%7B%7D&etext=2202.902fodTupHJb8p16h8mC2Us8aaWCQ0dC_7oZhk2OgdvMXXIbAER1yJ9kB_ifoCO7YWlva2d4d3VxdWdoanh4Yg.e384ebb3852e245af53d4e38bccd4a18c3354351&yclid=8372125168980721663 (accessed: 14.02.2026).

15. Page cloud.ru where virtual servers with KVM are offered. 2026. URL: <https://cloud.ru/services/kvm-server>. (accessed: 14.02.2026).

Ферубко Андрей Олегович
аспирант, Брянский государственный инженерно-технологический университет
ORCID 0009-0006-5625-137X
ferubko1999@yandex.ru

Кзаков Олег Дмитриевич
к.э.н., доцент, Брянский государственный инженерно-технологический университет
ORCID 0000-0001-9665-8138,
kazakov@bgitu.ru

Ключевые слова

Виртуализация, гипервизор, KVM, оперативная память, Selectel, оптимизация расходов, импортозамещение.

Ferubko Andrey Olegovich, Kazakov Oleg Dmitrievich. Optimizing the cost of IT-Infrastructure in High-Performance virtualization environments using an adaptive management model.

Keywords

Virtualization, hypervisor, KVM, RAM, Selectel, cost optimization, import substitution.

DOI:

JEL classification L86 Информационные и интернет-услуги Компьютерные программы

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the cost-effectiveness of implementing an adaptive KVM hypervisor management model in the infrastructure of the Selectel cloud provider. The relevance of the study is due to the need to increase the profitability of cloud services in conditions of variable user load, the tasks of import substitution in the field of IT infrastructure, as well as the interest in using national infrastructure solutions based on open-source software. The paper examines the limitations of the traditional approach to reserving computing resources, focused on peak loads, which leads to their systematic underutilization. As an alternative, an adaptive management model is analyzed, which assumes a dynamic redistribution of virtual machine resources depending on the current load profile. The study is based on the analysis of open data on provider billing and the formalization of calculations of the cost of providing virtual infrastructure, taking into account fixed and variable costs. Analytical dependences between the coefficient of resource utilization and the economic effect of adaptive management are derived. The profitability threshold has been determined, beyond which the implementation of the adaptive model becomes economically justified. The factors influencing the total cost of ownership of a virtual infrastructure, including load dynamics and the nature of resource usage by virtual machines, are analyzed. Recommendations on the design of virtual environments aimed at reducing unit costs are formulated. The economic feasibility of using an adaptive hypervisor management model in the medium term is shown.