

УДК 004.3

д.т.н. Романов О.І. (ВІТІ) ORCID - 0000-0002-8683-3286
 к.т.н. Нестеренко М.М. (ВІТІ) ORCID - 0000-0003-0812-2793
 Фесьоха Н.О. (ВІТІ) ORCID - 0000-0002-9797-5589
 Шрамко О.В. (НУОУ) ORCID - 0000-0002-7678-5129
 Ворожко А.М. (НУОУ) ORCID - 0000-0003-2818-9602

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ IP PBX ELASTIX НА БАЗІ ВІРТУАЛЬНИХ МАШИН ТА КОНТЕЙНЕРІВ

На теперішній час, при розгортанні або модернізації інфраструктури корпоративних мереж (або мереж операторів зв'язку) достатньо велика увага приділяється технологіям віртуалізації. Однією із перспективних технологій, яка набула широкого використання, являється VoIP телефонія. В зв'язку з цим постає завдання оцінки показників функціонування IP PBX Elastix з використанням технології віртуальних машин та контейнерів за допомогою відповідних інструментів дослідження продуктивності серверного обладнання в реальному часі. Для проведення тестів розгорнуто та сконфігуровано два сегменти мережі: на основі віртуального серверу при використанні гіпервізора ESXi та фізичного сервера при використанні Docker для контейнерної обробки. Для аналізу ефективності функціонування IP PBX Elastix на базі віртуальних машин та контейнерів використовуються такі показники, як кількість опрацьованих (неопрацьованих) дзвінків, навантаження на CPU та об'єм оперативної пам'яті. Для емуляції роботи SIP trunk та тестових дзвінків з боку абонентів на IP PBX було використано утиліту SipP. В подальшому були проведені групи тестів за допомогою розроблених сценаріїв із різними параметрами вхідного навантаження для оцінки продуктивності запропонованих технологій віртуалізації. Збір та візуалізація статистичних даних здійснювалось за допомогою агента моніторингу кількості використаних ресурсів Oskmeter.

Аналіз отриманих результатів показав, що при розгортанні сегменту IP-мережі на платформі IP PBX Elastix контейнерна технологія Docker на фізичному сервері показує кращу стабільність роботи при максимальних рівнях навантаження з задіянням незначних ресурсів серверного обладнання. Однак, при навантаженні на IP-мережі розгорнутої на гіпервізорі навантаження на ресурси машини є мінімальними в порівнянні з контейнерами в обох випадках.

Ключові слова: віртуальна машина, контейнер, IP-телефонія, контейнерна віртуалізація, віртуалізація.

Романов О.И., Нестеренко Н.Н., Фесьоха Н.А. Оценка показателей функционирования IP PBX Elastix на базе виртуальных машин и контейнеров. В настоящее время, при развертывании или модернизации инфраструктуры корпоративных сетей (или сетей операторов связи) достаточно большое внимание уделяется технологиям виртуализации. Одной из перспективных технологий, которая получила широкое использование, является VoIP телефония. В связи с этим встает задача оценки показателей функционирования IP PBX Elastix с использованием технологии виртуальных машин и контейнеров с помощью соответствующих инструментов исследования производительности серверного оборудования в реальном времени. Для проведения тестов развернуто и-ROM два сегмента сети: на основе виртуального сервера при использовании гипервизора ESXi и физического сервера при использовании Docker для контейнерной обработки. Для анализа эффективности функционирования IP PBX Elastix на базе виртуальных машин и контейнеров используются такие показатели, как количество обработанных (необработанных) звонков, нагрузка на CPU и объем оперативной памяти. Для эмуляции работы SIP trunk и тестовых звонков со стороны абонентов на IP PBX было использовано утилиту SipP. В дальнейшем были проведены группы тестов с помощью разработанных сценариев с различными параметрами входного нагрузки для оценки производительности предлагаемых технологий виртуализации. Сбор и визуализация статистических данных осуществлялось с помощью агента мониторинга количества использованных ресурсов Oskmeter.

Анализ полученных результатов показал, что при развертывании сегмента IP-сети на платформе IP PBX Elastix контейнерная технология Docker на физическом сервере показывает лучшую стабильность работы при максимальных уровнях нагрузки с задействованием незначительных ресурсов серверного оборудования. Однако, при нагрузке на IP-сети развернутую на гипервизор нагрузки на ресурсы машины минимальны по сравнению с контейнерами в обоих случаях.

Ключевые слова: виртуальная машина, контейнер, IP-телефония, контейнерная виртуализация, виртуализация.

O.Romanov, M.Nesterenko, N.Fesokha. Evaluation of performance indicators of IP PBX Elastix on the basis of virtual machines and containers. At present, when deploying or upgrading the infrastructure of corporate networks (or networks of telecom operators), much attention is paid to virtualization technologies. One of the promising technologies that has become widely used is VoIP telephony. This poses the challenge of evaluating the performance of Elastix IP PBXs using virtual machine and container technology using real-time server hardware performance tools. To test, two network segments were deployed and configured: a virtual server based on ESXi hypervisor and a physical server based on Docker for container handling. Virtual machines and containers are used to analyze the performance of

IP PBX Elastix, such as the number of processed (unprocessed) calls, CPU load, and RAM. The SipP utility was used to emulate the operation of SIP trunk and test calls from subscribers on IP PBX. Subsequently, groups of tests were conducted using the developed scenarios with different parameters of the input load to assess the performance of the proposed virtualization technologies. Statistics were collected and visualized using the Okmeter resource monitoring agent.

The analysis of the obtained results showed that when deploying the IP network segment on the IP PBX Elastix platform, Docker container technology on a physical server shows better stability at maximum load levels with the use of insignificant resources of server equipment. However, when the load on the IP network deployed on the hypervisor loads on the resources of the machine are minimal compared to containers in both cases.

Keywords: virtual machine, container, IP-telephony, container virtualization, virtualization.

Постановка завдання у загальному вигляді. Сьогоднішній етап розвитку телекомунікацій вказує на широке використання сучасних ІТ-технологій на всіх рівнях та сегментах інфраструктури мережі. Постійне вдосконалення і поширення мережевих технологій, які базуються на стеку протоколів *TCP/IP* та перехід на програмну реалізацію для надання сервісів призвело до створення нового виду зв'язку, який ґрунтується на використанні *Internet* протоколів та *SIP*-серверів, здатних перетворювати в цифрову форму звичайний голосовий сигнал. Цей новий вид зв'язку назвали *IP* або *VoIP* телефонією. *IP*-телефонія дозволяє істотно економити необхідну смугу пропускання каналів, що неминуче веде до зниження тарифів, особливо на міжміські і міжнародні телефонні розмови. Телефонні переговори, організовані з допомогою *VoIP* технології є більш надійними і універсальними в порівнянні з традиційними, так як замість проміжних комутаторів, програмно-апаратних АТС та інших пристроїв використовується програмні рішення такі, як *IP АТС Private Branch eXchange (PBX) Asterisk* [1].

Одним із проектів з відкритим програмним кодом, який використовує ядро *IP АТС Asterisk* являється *Elastix*, який має зручний керуючий *web*-інтерфейс для адміністрування. Необхідно відміти, що використання *IP PBX Elastix*, дозволяє об'єднувати різні сегменти мережі за рахунок уніфікації обробки повідомлень сигналізації, що відповідає вимогам концепції *NGN*.

На теперішній час, при розгортанні або модернізації інфраструктури корпоративних мереж (або мереж операторів зв'язку) достатньо велика увага приділяється технологіям віртуалізації. В свою чергу, розвиток та впровадження технологій віртуалізації дозволяє підвищити ефективність використання серверного обладнання, а також надійність та безвідмовність надання інформаційних послуг. Віртуалізація може бути включена з використанням багатьох технологій, у тому числі найбільш популярними такими як гіпервізор та контейнеризація. В зв'язку з цим постає завдання оцінки показників функціонування *IP PBX Elastix* (ядро *Asterisk*) з використанням технології віртуальних машин та контейнерів за допомогою відповідних інструментів дослідження стану в реальному часі [2].

Аналіз останніх публікацій. Аналіз останніх публікацій показав, що питання використання технологій віртуалізації для побудови сучасних мереж та інфокомунікаційних систем набули широкого впровадження та постійно вдосконалюються [3, 4]. У роботі [5] розглянуто порівняльний аналіз тестування гіпервізорної і контейнерної віртуалізації при побудові системи для віддалених робочих столів користувачів. В роботі [6] здійснено розрахунок навантаження для стаціонарної АТС та тестування *IP АТС Asterisk* для оцінки ефективності технології віртуальних машин. Однак в даних роботах не було здійснено дослідження роботи сегменту ІР-мережі на платформі *IP PBX* при різних технологіях віртуалізації, та не було враховано їх вплив на обчислювальні потужності серверного обладнання при різних рівнях навантаження.

Мета дослідження. Метою статті є порівняння показників функціонування *IP PBX Elastix* при використанні контейнерної віртуалізації та віртуальних машин.

Виклад основного матеріалу. Проекти віртуалізації були в центрі уваги багатьох ІТ-організацій досить довгий час, основною метою яких є консолідація серверів або центрів

обробки даних, зниження капітальних витрат та капіталовкладень (операційні витрати). Віртуалізацію в простих термінах можна визначити як консолідацію обчислювальних потужностей, пам'яті, пропускну здатності мережі та ємкості сховища з використанням меншої кількості апаратних ресурсів та можливість оптимально розподіляти ресурси на серверах.

Головна мета віртуалізації – максимально ефективно використовувати доступні ІТ-ресурси. Вона дозволяє відокремлювати всі обчислювальні ресурси, роблячи їх доступними для загального пулу віртуальних машин. В результаті цього нові або старі мережеві служби можуть бути додані, видалені або змінені без будь-яких складнощів.

Віртуалізація допомагає ІТ-інфраструктурі з точки зору:

- зниження витрат на закупівлю нового мережевого та серверного обладнання;
- безперервність бізнес-процесів;
- висока доступність до наявних ресурсів;
- масштабованість розрахункових ресурсів;
- швидке оновлення віртуальних машин;
- централізоване (корпоративне) управління.

На сьогоднішній день найбільш поширеними технологіями віртуалізації є віртуалізація на основі віртуальних машини та контейнерна віртуалізація [7].

Віртуальні машини покладаються на гіпервізор, який встановлюється або поверх операційної системи хоста, або поверх фізичного сервера рис. 1. Після установки гіпервізора віртуальні машини можуть бути створені з доступних обчислювальних ресурсів системи. Кожна віртуальна машина в свою чергу володіє власною операційною системою і запущеними додатками (службами). Віртуальні машини забезпечують повну ізоляцію від інших, що працюють на одному фізичному сервері.

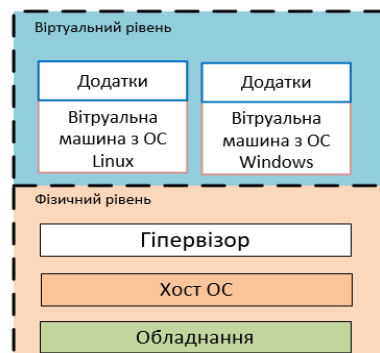


Рис. 1. – Реалізація віртуальних машин

Гіпервізор та віртуальні машини набули найбільш широкого розповсюдження для розгортання віртуального робочого середовища через зручність налаштування та масову підтримку спільноти.

В свою чергу, віртуалізація контейнерів в умовах сьогодення стає надійною альтернативою до традиційної віртуалізації, тим самим забезпечуючи нові гнучкі функції, а також вирішення проблеми з центрами обробки даних.

Різниця між віртуалізацією та контейнеризацією може бути охарактеризована за допомогою управління використанням ресурсів на рівні операційної системи.

З іншого боку, в контейнерах спочатку встановлюється операційна система хоста, а потім – “контейнерний рівень”, наприклад *LXC* або *libcontainer*. Як тільки віртуальний контейнерний рівень буде встановлено, розгортаються контейнери, використовуючи наявні системні ресурси з відповідними додатками всередині них.

Ці контейнери забезпечують ізоляцію, але спільно використовують одну і ту ж операційну систему з головною машиною.

На рисунку 2 приведено порівняння двох технологій при використанні віртуальних машин та контейнерної обробки.

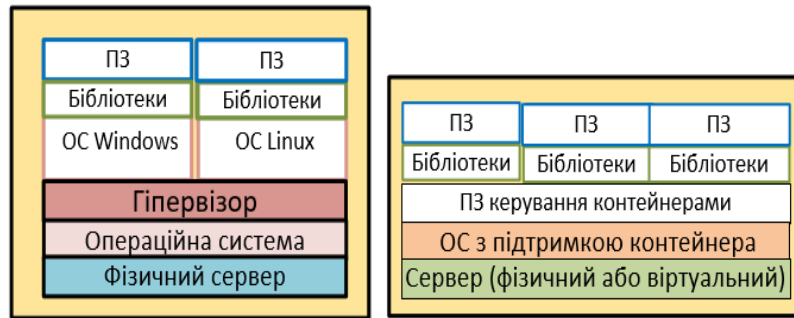


Рис. 2. – Порівняння віртуальних машин та контейнерів

Контейнери вважаються більш ефективними в плані використання ресурсів, ніж віртуальні машини, оскільки усувається необхідність в додаткових ресурсах для кожної операційної системи. Відповідно, результуючі екземпляри стають все менше і швидше для розгортання та управління.

В результаті цього одна фізична система може розміщувати більше контейнерів в порівнянні з віртуальними машинами. Це безпосередньо впливає на економію використання хмарної інфраструктури, забезпечуючи значне скорочення витрат, але не гарантують повної відмовостійкості всіх запущених контейнерів.

Однак контейнери та віртуальні машини можуть співіснувати в одному і тому середовищі, доповнюючи один одного, тим самим розширюючи доступний набір інструментів для операторів центрів обробки даних для надання ресурсів.

Для оцінки ефективності застосування даних технологій проведемо дослідження при використанні *IP PBX Elastix* в якості мережевої служби. Для проведення практичного експерименту та визначення ефективності роботи *IP АТС* було побудовано сегмент корпоративної мережі (рис. 3), де в якості платформи використовувався віртуальний сервер на базі *ESXI*.

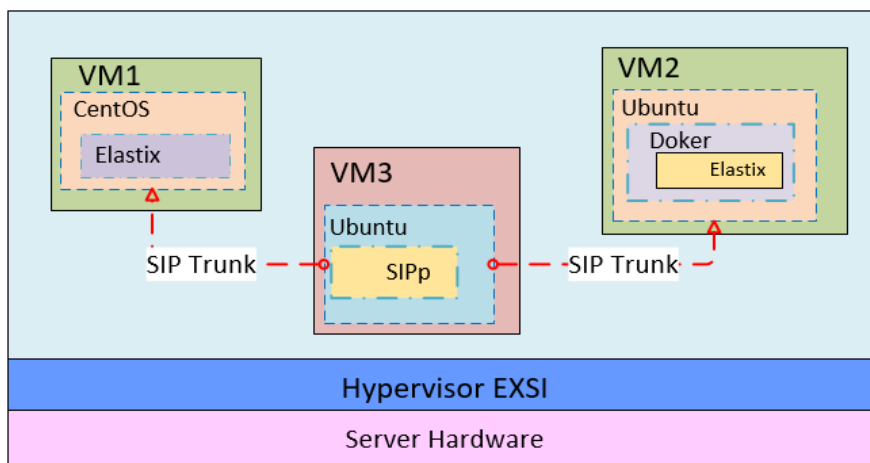


Рис. 3. – Сегмент *IP*-телефонії на основі віртуальних машин та контейнерів при використанні віртуального сервера

Далі сегмент *IP*-телефонії був розгорнутий на фізичному сервері при використанні контейнера (рис. 4). Тобто було інстальовано *Ubuntu Server* на якому розгорнуто *Docker* та зконфігуровано контейнер з *IP-АТС Elastix*.

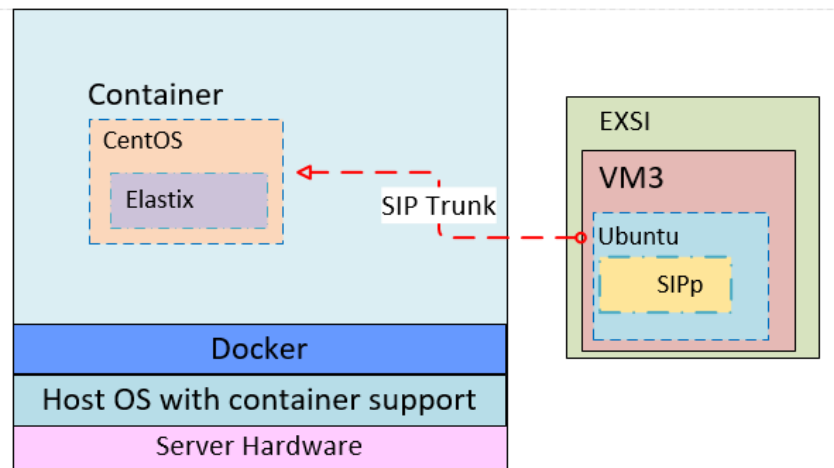


Рис. 4. – Сегмент *IP*-телефонії на основі *Docker* та контейнера при використанні фізичного сервера

В подальшому на базі даних стендів було проведено тестування при різних значеннях вхідного навантаження.

Перед тестуванням, в реальному масштабі часу утилітою моніторингу системи *Scots realtime* були зняті показники використаних ресурсів *IP-ATC Elastix* при використанні віртуальної машини (рис. 5) та *IP-ATC Elastix* на базі контейнера (рис. 6)

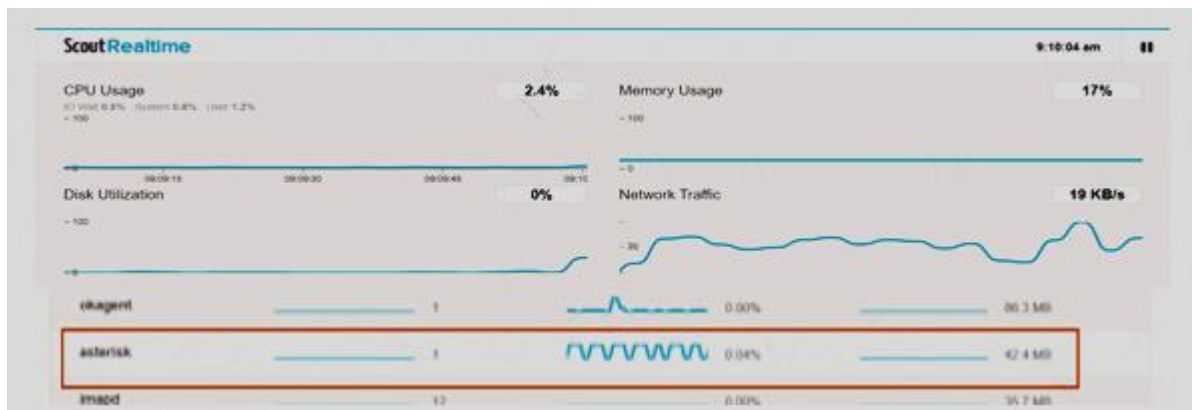


Рис. 5. – Статистика використання ресурсів віртуальною машиною *IP-ATC Elastix* при використанні гіпервізора *ESXi*

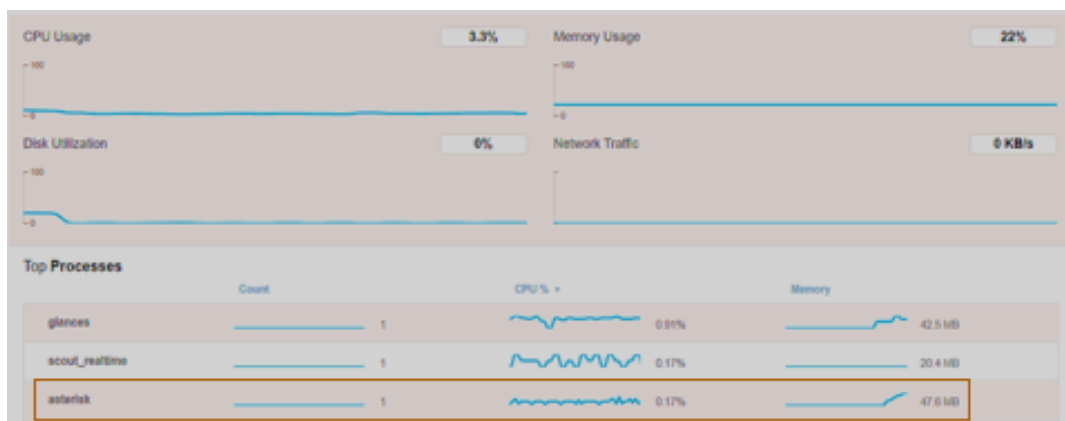


Рис. 6. – Статистика використання ресурсів контейнером *IP-ATC Elastix* при використанні *Docker*

Як можна спостерігати на рисунку 5 та 6 віртуальна машина загалом використовує прийнятну для системи кількість оперативної пам'яті та незначну кількість *CPU* в порівнянні з контейнером.

Проведемо короткий опис основних компонентів та системних утиліт, що були використані для створення віртуального стенду згідно рис. 3. На фізичному сервері встановлений автономний гіпервізор *ESXi* від компанії *VMware*, який не потребує встановлення операційної системи та інсталується безпосередньо на апаратну частину сервера. На гіпервізорі розгорнуто три віртуальні машини:

1. На першій віртуальній машині (*VM1*) встановлений дистрибутив *CentOS* на якому розгорнута *IP-ATC Elastix*. Тобто *IP-ATC Elastix* розгорнута при використанні технології віртуальних машин.

2. На другій віртуальній машині (*VM2*) встановлена ОС *Ubuntu Server* з підтримкою контейнерної обробки. На основі даної ОС розгорнутий *Docker* та створено контейнер в якому сконфігуровано *IP-ATC Elastix*. Тобто в даному випадку *IP-ATC* створено в контейнері на віртуальному сервері в якості платформи для ОС.

3. На третій віртуальній машині (*VM3*) встановлена ОС *Ubuntu Desktop* на якій встановлена утиліта *SIPp*, що дозволяє створювати навантаження на *IP-ATC Elastix*, а саме генерувати дзвінки.

Утиліта *SIPp* є відкритим інструментом з тестування та генерації трафіку *SIP* протоколу. Перевагою даного інструменту являється підтримка *TLS*, *SIP* аутентифікації, умовних сценаріїв, *UDP* ретрансмій, регулярних виразів, можливості вставки довільних заголовків, логування, виконання системних команд в залежності від результату.

Далі було проведена *перша група тестів* для *IP-ATC Elastix* розгорнутої при використанні технології віртуальних машин, тобто з *VM3* було створено сценарій генерації дзвінків на *VM1*. А саме, за допомогою утиліти *SIPp* було створено сценарій який дозволяє створити *SIP trunk* (віртуальний канал зв'язку) між *VM3* і *VM1* та генерувати вхідне навантаження на *IP-ATC Elastix*. *SIP trunk* дозволяє підключити потрібну кількість номерів з безлімітним числом каналів по одному номеру (одночасних переговорів по одному номеру).

При створенні віртуального каналу зв'язку були встановлені наступні параметри (рис. 7.):

- тривалість дзвінків (розмови), задається ключем: *-d 210* с (3,5 хвилини);
- максимальна кількість одночасних дзвінків, задається ключем: *-l 500* (500 одночасних дзвінків);
- максимальна швидкість дзвінків в секунду, задається ключем: *-r 10* (не більше 10 дзвінків/сек.);
- тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.243 -s 2005 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 -aa
-mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd r 10 trace_err
Resolving remote host '192.168.0.243' ... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length)  Port  Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s  5060  571.42 s  1016  192.168.0.243:5060(UDP)
-----
Successful call  | 0 | 1000
Failed call     | 0 | 0
-----
Response Time 1  | 00:00:00:000000 | 00:00:00:000000
Call Length     | 00:02:22:897000 | 00:02:22:897000
----- Test Terminated -----

```

Рис.7. – Результати налаштування *SIPp* та тестування *IP-ATC Elastix* (*VM1*) при 500 одночасних дзвінків

Як бачимо з рисунку 7 всі дзвінки оброблені *IP-ATC Elastix*, неопрацьованих нема. На рисунках 8, 9 приведена статистика у вигляді графіків отримана встановленим агентом *Okmeter*, що дозволяє оцінити кількість використаних ресурсів віртуальною машиною при різних умовах навантаження. На рисунку 10 відображено завантаження пам'яті відповідними службами ОС віртуальної машини включаючи ядро *Asterisk*.

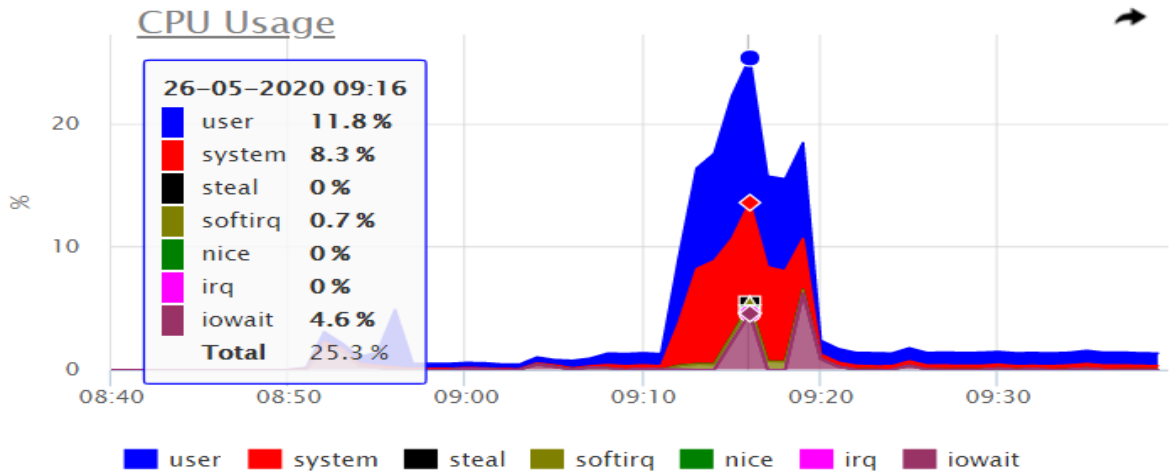


Рис. 8. – Результати використання CPU IP-ATC Elastix (VMI) при 500 одночасних дзвінків

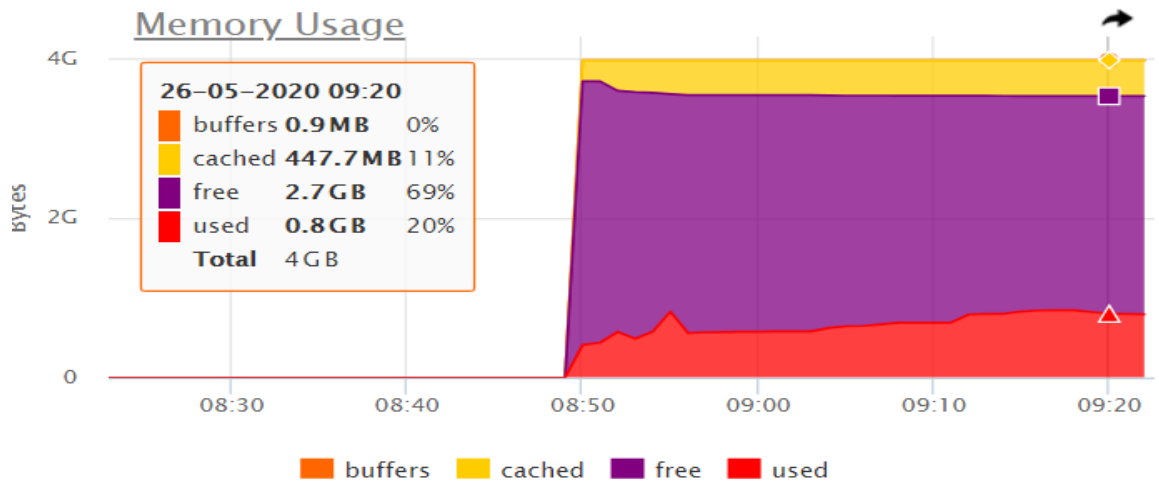


Рис.9. – Результати використання пам'яті IP-ATC Elastix (VMI) при 500 одночасних дзвінків

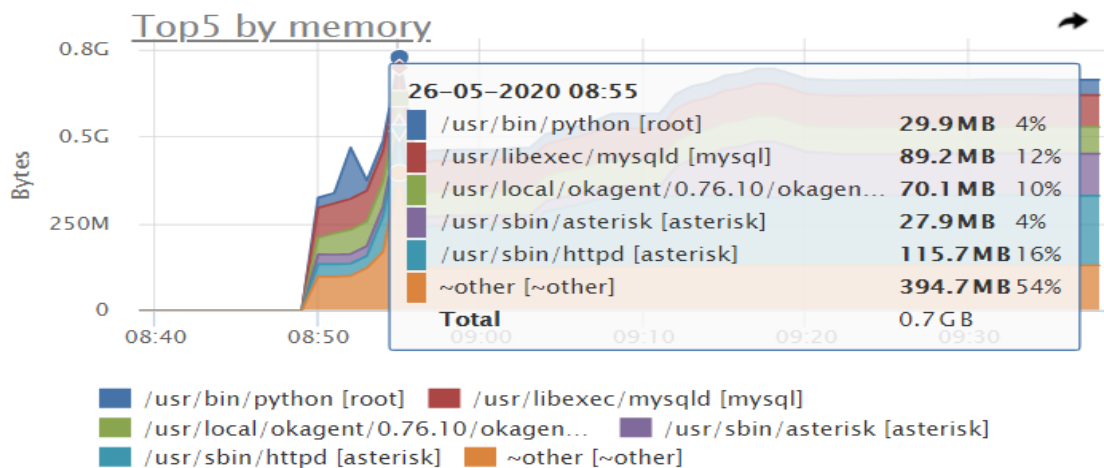


Рис.10. – Навантаження віртуальної машини службами при 500 одночасних дзвінків

В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по SIP trunk, а саме -1 600 700, 800, 900, 1000, результати яких зведено в таблицю 1.

Результати тестування системи на основі гіпервізора

Кількість одночасних дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкинутих дзвінків
		GB	%	
500	25	0.8	20	-
600	30,6	0.9	22	-
700	35,1	0.9	23	-
800	39,6	0.9	23	-
900	40,7	0.9	24	29
1000	45,7	1	24	174

Як видно з таблиці 1 при генеруванні 900 і 1000 одночасних викликів, деякі з них не опрацювались, тобто було відмовлено в обслуговуванні.

Потім була проведена *друга група тестів* для *IP-ATC Elastix* в контейнері на основі віртуального сервера, тобто з *SIPp VM3* було створено сценарій генерації дзвінків на *VM2*. Для проведення тестування *IP-ATC Elastix* при контейнерній обробці (віртуальний стенд рис. 3) було також проведено експеримент з такими ж значеннями вхідного навантаження. А саме, на основі вище описаного сценарію був створений канал зв'язку між *SIPp (VM3)* та *IP-ATC Elastix* в контейнері (*VM2*) з наступними параметрами (рис. 11):

- тривалість дзвінків: *-d 210* і (3,5 хвилини);
- максимальна кількість одночасних дзвінків: *-l 500* (не більше 500);
- максимальна швидкість дзвінків в секунду: *-r* (не більше 10 дзвінків/секунду);
- тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.203 -s 2020 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 aa -mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd -r 10 trace_err
Resolving remote host '192.168.0.203'... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s 5000 478.51 s 1000 192.168.0.203:5060(UDP)
-----
Successful call 1000
Failed call 0

```

Рис.11. – Результати налаштування *SIPp* та тестування контейнера з *IP-ATC Elastix* на основі віртуального сервера при 500 одночасних дзвінках

Як бачимо з рисунку 11 всі дзвінки оброблені, відмов нема. На рисунках 12, 13 приведена статистика у вигляді графіків для оцінки кількості використаних ресурсів при різних умовах навантаження. На рисунку 14 відображено завантаження пам'яті службами контейнера.

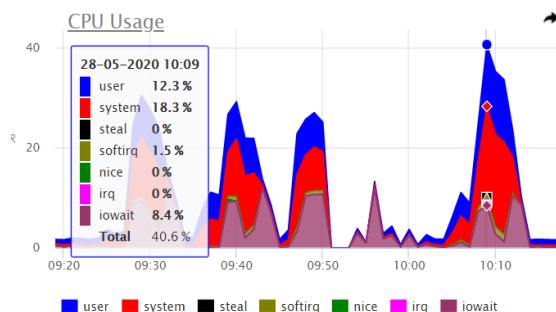


Рис. 12. – Результати використання *CPU* при 500 одночасних дзвінках на контейнер при використанні віртуального серверу

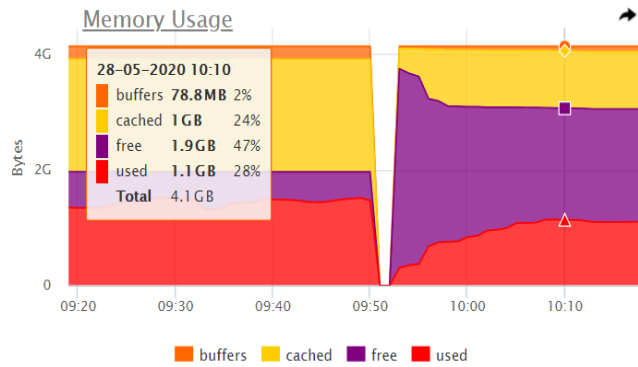


Рис.13. – Результати використання пам'яті контейнером при 500 одночасних дзвінків

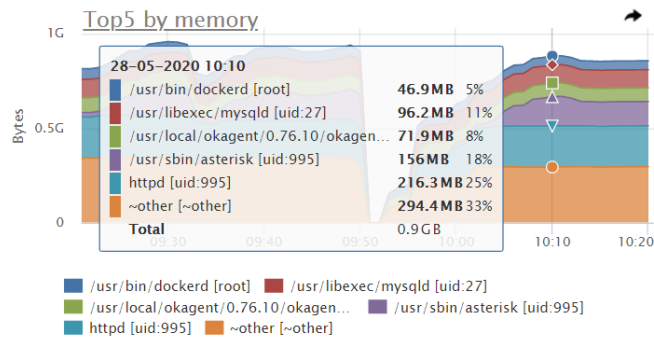


Рис.14. – Навантаження віртуальної машини з контейнером та службами ОС при 500 одночасних дзвінків

В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по *SIP trunk*, а саме -l 600 700, 800, 900, 1000, результати яких зведено в таблицю 2.

Таблиця 2

Результати тестування контейнера на основі віртуального сервера

Кількість дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкиннутих дзвінків
		GB	%	
500	40,6	1.1	28	-
600	44,1	1.2	29	-
700	40,6	1.2	29	200
800	38,7	1.2	29	322
900	43,6	1.2	30	411
1000	43,5	1.3	31	349

З приведеної таблиці можна спостерігати, що при 700 одночасних викликів на контейнер починається відмова в обслуговуванні.

Також була проведена **третя група тестів** при використанні фізичного сервера в якості платформи для контейнера з *IP-ATC Elastix* (рис. 4). Для початку, проведемо опис основних компонентів відповідно до стенду рис. 4:

1. На фізичному сервері встановлено ОС *Ubuntu Server* з підтримкою контейнерної віртуалізації. На основі даної ОС розгорнутий *Docker* та створено контейнер в якому зконфігуровано *IP-ATC Elastix*. Тобто в даному випадку *IP-ATC* створено в контейнері на фізичному сервері.

2. На віртуальній машині (VM) встановлена ОС *Ubuntu Desktop* на якій встановлена утиліта *SIPp*, що дозволяє створювати навантаження на *IP-ATC Elastix* згідно *SIP* протоколу.

Далі по аналогії вище проведених тестів був створений канал зв'язку між *SIPp* (VM) та *IP-ATC Elastix* в контейнері з наступними параметрами (рис. 15):

- тривалість дзвінків: *-d 210* і (3,5 хвилини);
- максимальна кількість одночасних дзвінків: *-l 500* (не більше 500);
- максимальна швидкість дзвінків в секунду: *-r* (не більше 10 дзвінків/секунду);
- тривалість тестів складало приблизно 8 хв (500 с).

```

sysadmin@sysadmin-virtual-machine:~$ sipp 192.168.0.243 -s 2828 -i 192.168.0.253 -d 210s -l 500 -aa -mi 192.168.0.253 -rtp_echo -nd -r 10 -trace_err
Resolving remote host '192.168.0.243'... Done.
----- Scenario Screen ----- [1-9]: Change Screen --
Call rate (length) Port Total-time Total-calls Remote-host
10,0(210000 ms)/1,000s 5000 498.21 s 1000 192.168.0.243:50600(UDP)
-----
Successful call | 0 | 1000
Failed call | 0 | 0
    
```

Рис.15. – Результати налаштування SIPp та тестування контейнера IP-ATC Elastix на базі фізичного сервера при 500 одночасних дзвінків

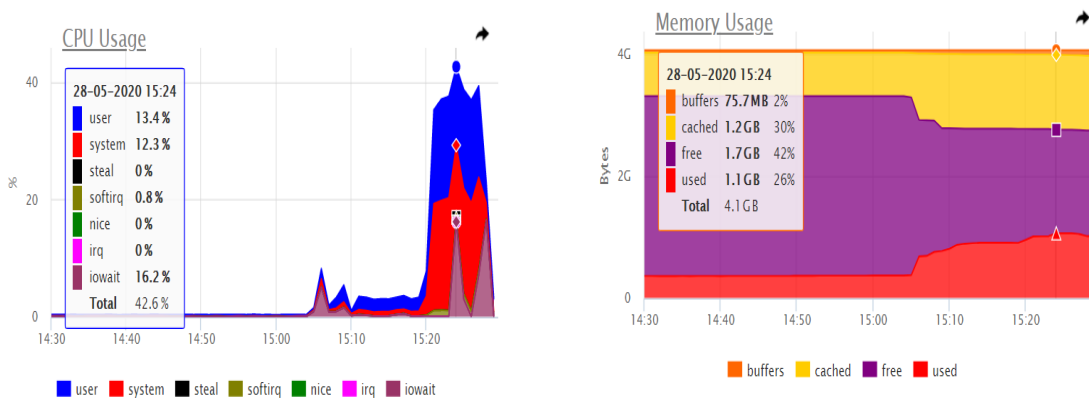


Рис. 16. – Результати використання ресурсів контейнера при 500 одночасних дзвінків В подальшому при тестуванні змінювались лише кількість одночасних дзвінків по SIP trunk, а саме *-l 600 700, 800, 900, 1000*, результати яких зведено в таблицю 3.

Таблиця 3

Результати тестування контейнера на основі фізичного сервера

Кількість дзвінків	Середнє навантаження на CPU (%)	Середнє навантаження на пам'ять		Кількість відкиннутих дзвінків
		GB	%	
500	42,6	1.1	26	-
600	51,9	1.1	27	-
700	60,3	1.1	27	-
800	61,8	1.2	29	-
900	62,6	1.2	30	-
1000	70	1.2	30	-

Висновок. Отже, останні тенденції розвитку інформаційно-телекомунікаційних систем спрямовані на ефективне використання наявних серверних ресурсів, за рахунок застосування сучасних методів та технологій віртуалізації. Для оцінки показників функціонування IP PBX Elastix на базі віртуальних машин та контейнерів було та конфігуровано два сегменти мережі: на основі віртуального серверу з використанням гіпервізора ESXi та на основі фізичного сервера при використанні Docker для контейнерної обробки. Проведено ряд експериментів з тестуванням даних сегментів. На основі аналізу

проведених експериментів можна відмітити, що частка використання *CPU* при розгортанні *IP-ATC Elastix* на основі віртуальної машини менша в середньому на 22% від контейнерної віртуалізації. Натомість використання оперативної пам'яті майже не відрізняється та менше в середньому на 5%. Продуктивність *IP-ATC Elastix* на віртуальній машині значно краща в порівнянні з контейнером *IP-ATC Elastix* на платформі *ESXi*, так як вже при навантаженні в 700 одночасних викликів контейнер не обслуговує практично 29 % вхідних викликів (в подальшому кількість відмов тільки зростає). Однак, якщо порівнювати використання *IP-ATC Elastix* на основі віртуальної машини та контейнера на фізичному сервері, то тут контейнери пропонують кращу стабільність роботи при максимальних рівнях навантаження втрати відсутні.

В подальшому планується розробити аналітичну модель оцінки продуктивності серверного обладнання при різних технологіях віртуалізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Globa, L., Skulysh, M., Romanov, O., & Nesterenko, M. (2018, November). Quality Control for Mobile Communication Management Services in Hybrid Environment. In *The International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics* (p. 76-100). Springer, Cham.
2. Можливості Asterisk. Тестування навантаження на Asterisk 1.8. Утиліта sipp. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://voxlink.ru/kb/asterisk-configuration/asterisk-test-sipp>.
3. Jessie Frazelle. Docker Containers on the Desktop. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://blog.jessfraz.com/post/docker-containers-on-the-desktop>.
4. Л.Аврамов. Центры обработки данных на основе политик и ACI: структура, концепции и методология. Вильямс, 2016. 384 с.
5. А.В. Гордеев, Д.В. Горелик. Сравнительное тестирование контейнерной и гипервизорной виртуализации. *Научный журнал "Программы и аппаратные средства"* №2. 2018. С. 60 – 65.
6. Е.С. Фадеев, С.Д. Шибайкин. Расчёт поступающей нагрузки и нагрузочное тестирование IP- АТС на базе Asterisk. *Научный журнал "Вестник науки и образования"*. 2018 Том 2, №8(44). С. 5 – 9.
7. О.І. Романов, М.М. Нестеренко, Н.О. Фесьоха. Аналіз сучасних технологій віртуалізації для побудови інформаційно-телекомунікаційних систем. *Збірник наукових праць ВІТІ №1*. 2019. С.82 – 90.
8. Сейерс Э. Х., Милл А. Docker на практике. ДМК-Пресс, 2016. 516 с.
9. В. Юров. Elastix. – М.: ЭКОМ Паблишерз, 2015. 286 с.
10. Файлы конфигурации Asterisk. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://asterisk-pbx.ru/wiki/asterisk/cf>.
11. Настройка Asterisk сервера [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.calculate-linux.org/main/ru/configuration_of_asterisk_server.
12. Matthias K., Kane S. Docker: Up & Running. Shipping Reliable Containers in Production. –O'Reilly, 2015. – p.198.
13. Миллан Иан, Сейерс Эйдан Хобсон. Docker на практике. ДМК-Пресс, 2016. 516 с.