

УДК 004

Д.Ткаченко, магістр гр. КІ-23М

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ГІПЕРКОНВЕРГЕНЦІЇ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. Об'єктом дослідження є процес гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. Предметом дослідження є методи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. За останній рік гіперконвергенція чи стала не самим модним трендом в ІТ, хоча ще два-три роки тому про неї мало хто чув. Аналітики пророкують цьому сегменту інтегрованих рішень запаморочливі темпи росту – 50-70% щорічно. Відповідні пристрої вже почали пропонувати HPE, EMC і Cisco – найбільші гравці ринку серверів, СЗД і мережного встаткування. Із чим зв'язана така популярність гіперконвергентних систем і наскільки обґрунтовані надії на успішне рішення з їхньою допомогою завдань, з якими зіштовхуються корпоративні ІТ-відділи?

Гіперконвергенція реалізує програмно обумовлений підхід до керування зберіганням інформації у системах зберігання даних, поєднуючи засоби зберігання, обчислювальні потужності, мережні ресурси й технології віртуалізації в одному фізичному пристрої, керування яким здійснюється як єдиним цілим.

Історію гіперконвергентних рішень у їхньому поточному втіленні можна простежити до 2009 року, коли були утворені два стартапа, з якими вони асоціюються в першу чергу, – Nutanix і SimpliVity. Компанія Nutanix вийшла на ринок улітку 2011 року зі своїм програмно-апаратним рішенням Complete Cluster, а через півтора року свій гіперконвергентний пристрій OmniCube представила SimpliVity. OmniCube компанії SimpliVity – один з перших гіперконвергентних пристроїв на ринку. OmniCube у форм-факторі 2U поєднує обчислювальні ресурси, гіпервізор, сервіси зберігання на базі серверної платформи x86. Крім єдиного централізованого керування, підтримуються такі функції, як убудоване резервне копіювання ВМ, дедуплікація даних не лету, стиск і оптимізація на джерелі й ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.
- Дослідження системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.
- Програмна реалізація системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.

Об'єктом дослідження є процес гіперконвергенції IT-інфраструктури.

Предметом дослідження є методи гіперконвергенції IT-інфраструктури.

Методи дослідження базуються на методах теорії побудови комп'ютерних мереж, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Постачальники гіперконвергентних систем позиціонують свої продукти як відповідь на самі насущні виклики, з якими зіштовхуються корпоративні IT-відділи: швидке розгортання встаткування для підтримки нових послуг, скорочення капітальних і операційних витрат, нестача кваліфікованих IT-кадрів, спрощення керування IT-інфраструктурою, підвищення захищеності й доступності даних і т.д.

Відповідно до відомої пропорції, 80% усього часу витрачається на підтримку IT-інфраструктури в належному стані й тільки 20% – на її стратегічний розвиток для рішення завдань бізнесу, оскільки виконання поточних операцій поглинає більшу частину робочого часу співробітників IT-відділів. Відповідно до недавнього дослідження IDC, застосування гіперконвергентних систем дозволило корпоративним IT-відділам більше часу приділяти інноваціям і новим проектам – 29% замість колишніх 16%. Крім того, у результаті вдалося збільшити частку IT-бюджету, що направляється на нові проекти, – з 43 до 56%. І це тільки одне з потенційних переваг реалізації гіперконвергентної інфраструктури. Аналітики з 451 Research затверджують, що постачальники HSI найбільше часто виділяють ще чотири.

Скорочення числа керованих систем

Один гіперконвергентний вузол поєднує обчислювальні й СЗД-ресурси, що, відповідно, веде до скорочення числа окремих пристроїв і, як наслідок, зменшенню кількості об'єктів, які треба здобувати, установлювати й обслуговувати. Крім того, більше простому розгортанню й обслуговуванню гіперконвергентних пристроїв сприяє те, що вони базуються на стандартних серверних компонентах (це не вимагає знання пропрієтарного встаткування постачальників традиційних СЗД). Нарешті, наявність у багатьох рішеннях інтегрованих інструментів керування спрощує завдання адміністрування.

Постачальники HSI навіть заявляють про появу нового класу IT-фахівців – універсалів (generalists). Завдяки автоматизації багатьох функцій керування, їм не доводиться вникати в специфічні деталі архітектури серверів і СЗД, як їх вузькоспеціалізованим побратимам, які в еру до-HSI фокусувалися на обслуговуванні тільки одного виду встаткування. Більше просте керування апаратним забезпеченням особливо привабливо для невеликих компаній і віддалених філій, де немає умов для утримання штату фахівців.

Спрощення масштабування

Як відзначають аналітики 451 Research, масштабування систем зберігання завжди було важкою справою: після заповнення наявних полиць для дисків або здобувалася ще одна система, який доводилося управляти окремо, або здійснювався перехід на більшу систему. На відміну від них, гіперконвергентні системи розраховані не на вертикальне (scale-up), а на горизонтальне (scale-out) масштабування. Коли виникає необхідність у додатковій обчислювальній потужності, IT-відділу досить придбати ще один вузол і додати його до наявного кластера. У порівнянні із традиційними й конвергентними рішеннями типовий квант нарощування значно менше.

Фокус на VM

Гіперконвергентні продукти споконвічно створювалися розраховуючи на підтримку віртуальних середовищ. Так, багато постачальників розробляли своє програмне забезпечення з обліком того, що керування зберіганням повинне здійснюватися з погляду віртуальних машин, а не СЗД. Традиційні системи зберігання оптимізовані для керування LUN. Однак, коли на хості виконуються декілька VM, всі вони найчастіше зберігаються в одному LUN. Ця особливість утрудняла застосування індивідуальної політики зберігання для VM, до того ж воно відбувалося на рівні системи зберігання.

На противагу такому підходу ВМ-центричні гіперконвергентні платформи дозволяють застосовувати політикові до окремих ВМ, призначаючи для кожної свої правила резервного копіювання, тиражування й т.д. В остаточному підсумку для ІТ-адміністраторів пріоритетом є керування ВМ, а не інфраструктурними складовими. А інструменти керування НСІ дозволяють контролювати все гіперконвергентне середовище з однієї адміністративної консолі. Тим самим підвищується можливість маневрування (agility), тому що ВМ можна швидко переміщати між вузлами у відповідь на вимоги, що змінилися.

Підвищення продуктивності

Як і багато новітніх систем зберігання, практично всі гіперконвергентні пристрої містять флеш-накопичувачі. Вони відрізняються від флеш-масивів тим, що перебувають усередині фізичного сервера, забезпечуючи меншу – у порівнянні із зовнішніми системами зберігання – затримку. Крім того, підвищуючи продуктивність, флеш-масиви не вирішують проблеми ізольованого зберігання, не припускають єдиного керування інфраструктурою й не забезпечують плавного масштабування ЦОДа.

Використання локального кеша на базі флеш-накопичувачів підвищує продуктивність при роботі з даними, однак який може бути реальна продуктивність гіперконвергентного кластера при його масштабуванні до декількох десятків вузлів? Якщо віртуальна машина функціонує на конкретному вузлі, то дані розподіляються між вузлами. Нові записи сегментуються, звичайно по числу вузлів. Кожний сегмент передається через комутатор всім вузлам у кластері. І це тільки одна операція. А наскільки більшим виявиться мережний трафік, коли буде потрібно виконати десятки тисяч операцій уведення-виводу в секунду (але ж крім цього відбувається звичайна передача даних між серверами й між серверами й користувачами). Все це порушує питання про якість і продуктивність мережної інфраструктури.

Найчастіше у визначенні гіперконвергентного рішення мережні компоненти навіть не згадуються як його інтегральна частина. І якщо навіть згадування про неї є присутнім, то в більшості випадків воно носить формальний, декларативний характер, оскільки для реалізації гіперконвергентного кластера потрібно зовнішня мережна інфраструктура, наявність якої маєтись на увазі як щось саме собою що розуміє.

Використання конвергентної інфраструктури веде до різкого збільшення обсягів трафіку в напрямку схід – захід. Донедавна самим вузьким місцем були системи зберігання. Рішенням цієї проблеми стала поява твердотільних накопичувачів, але в результаті потенційно вузьким місцем виявилася мережа. Більшість постачальників гіперконвергентних рішень успішно справляються із трафіком схід – захід усередині модулів. Деякі з них рекомендують ту або іншу архітектуру для міжз'єднання й нерідко включають небрендовані комутатори із передвстановленою ОС (white box) у кожний модуль. Однак це не означає, що з'єднання між вузлами масштабуються аналогічним образом. Гіперконвергентна інфраструктура вимагає зміни багатьох традиційних мережних технологій.

Міжз'єднання вузлів є потенційно слабким місцем гіперконвергентних рішень. Постачальники фокусуються на обчисленнях і зберіганні, обіцяючи лінійне масштабування шляхом додавання вузлів. Гіперконвергентне програмне забезпечення гарне справляється з інтеграцією нових вузлів, але чи підходить для успішного рішення цього завдання фізичний рівень? Міжз'єднання вузлів здійснюється на основі вже наявної мережної інфраструктури. Вузли кластера взаємозалежні, тому будь-яка несправність мережної карти, комутатора або сполучних кабелів може негативно вплинути на функціонування всього кластера. У деяких випадках це не представляє проблеми, оскільки в ЦОДі вже є швидка й надійна мережа. Однак набагато більше ймовірність того, що існуюча мережа не здатна підтримувати міжз'єднання з низькою затримкою, що потрібно для гіперконвергентних рішень.

Іноді необхідна кабельна й мережна інфраструктура попросту відсутня, і підключити черговий вузол нікуди. Тим часом часто дуже мало часу при реалізації приділяється плануванню різних компонентів мережної інфраструктури й міжз'єднанню вузлів між собою. Як показує весь попередній галузевий досвід, у багатьох компаніях, особливо

невеликих, прагнуть використовувати як можна більше дешеві кабельні компоненти, недорогі мережні карти й бюджетні комутатори. Але чи зможе така інфраструктура забезпечити надійні високошвидкісні з'єднання між вузлами кластера?

Установка комутаторів з високошвидкісними портами (10G+) у верхній частині стійки або наприкінці ряду проблеми не вирішує: підвищення продуктивності недостатньо, крім цього мережа повинна забезпечити контроль за створенням з'єднань і виділенням пропускну здатності. Програмно обумовлені фабрики, що комутуються, надають необхідну гнучкість і засоби автоматизації для керування трафіком між модулями, однак це веде до значного ускладнення мережної інфраструктури, що входить у суперечність із однією з головних цілей HCI – спрощенням використання ІТ. Таким чином, деякі відсутні в модулях HCI спеціалізовані функції керування мережею прийде поки відтворювати на рівні агрегації або ядра.

Якщо багатьом постачальникам гіперконвергентної інфраструктури ще має бути знайти ефективний спосіб створення міжз'єднанний, то від такого мережного вендора, як Cisco, можна було очікувати, що при випуску своєї гіперконвергентної системи HyperFlex він заздалегідь подбає про пошук підходящого рішення. І дійсно, в архітектурі HyperFlex, як і в USC, на якій вона базується, за організацію всіх з'єднань відповідають два комутатори Fabric Interconnect 6248s (серію 6300 з портами 40 Гбіт/с в Cisco вважають поки надлишковою для створення HCI). Це забезпечує єдине керування як мережними з'єднаннями, так і гіперконвергентними й обчислювальними вузлами (у кластер HyperFlex можна додавати блейди). Як затверджує виробник, після розгортання кластера його можна масштабувати до максимального розміру без необхідності вносити зміни в мережу.

Міжз'єднання вузлів – не єдині труднощі, з якої можуть зштовхнутися користувачі гіперконвергентних рішень. Список можливих проблемних чи місць не більше переліку потенційних вигід. Однак до декларуємих недоліків треба ставитися не менш критично, ніж до того що заявляється перевагами. При цьому варто пам'ятати принаймні три речі: по-перше, часто недоліки є продовженням переваг (наприклад, зміна організаційної структури у зв'язку з появою ІТ-фахівців-універсалів нерідко викликає невдоволення інших співробітників ІТ-відділів); по-друге, деякі проблеми, такі як побоювання щодо можливих ризиків (втрата всього кластера через помилку в програмному забезпеченні), носять імовірнісний характер і зовсім не обов'язково повинні реалізуватися; по-третє, відмічувані недоліки не скасовують і не затьмарюють реальних переваг (на залежність від вендора можна піти заради скорочення витрат і інших вигід гіперконвергенції).

Проблема інтерконекта може бути віднесена до більше широкої проблеми потенційних архітектурних обмежень гіперконвергентних рішень. Об'єднання не занадто більших груп жорстких дисків і твердотільних накопичувачів, що перебувають на різних серверах, породжує інші труднощі, що не виникають при використанні традиційних зовнішніх масивів, коли одна система містить безліч дисків. Зокрема, програмне забезпечення повинне забезпечувати ефективне подання розподілених фізичних ресурсів зберігання як єдиного логічного цілого. Наскільки ефективно вирішується це завдання, особливо при масштабуванні кластера понад декілька вузлів, можна судити тільки за результатами практичного застосування відповідних рішень.

Програмному забезпеченню зберігання, як у випадку VSA, доводиться конкурувати з іншими віртуальними машинами й процесами за процесорний час (за деякими оцінками, воно споживає до 20-30% процесорного часу), так що продуктивність введення-виводу може значно варіюватися. Оскільки багато гіперконвергентних рішень з'явилися зовсім недавно і є досить складними по своєму внутрішньому пристрою, можна апріорі затверджувати, що в них напевно є ті або інші помилки й баги. Програмне забезпечення розподілене між всіма вузлами й взаємодіє з дисками й накопичувачами за власними правилами. Якщо воно раптом перестане функціонувати, то це чревате втратою всієї інфраструктури й всіх даних. Таким чином, мова йде про потенційну крапку загальносистемної відмови.

Постачальники гіперконвергентних пристроїв затверджують, що вони використовують стандартні компоненти серверів і зберігання, і в цьому змісті пропонуване рішення є відкритим. На жаль, деякі з них не задіють внутрішній потенціал гіперконвергенції для зниження залежності від вендора, а навпаки, вживають заходів для прив'язки клієнтів до своїх рішень, наприклад за рахунок використання нестандартних компонентів. У результаті доводиться все встаткування купувати в однієї компанії й багато в чому залежати від її надійності. Частково проблема вирішується шляхом використання окремого програмного рівня, що може бути розгорнуто на будь-якому встаткуванні на вибір замовника. Поряд з тим, що при цьому губиться ряд переваг гіперконвергентних пристроїв, зокрема оптимальне припасування програмного й апаратного забезпечення, сумніву в надійності постачальника, що особливо недавно з'явився на ринку, залишаються.

Можливо, головною перешкодою на шляху гіперконвергенції є людський фактор: широке поширення нового підходу вимагає серйозних організаційних змін – від моделі закупівель до структури ІТ-відділу. У перспективі широке використання гіперконвергентних рішень здатно привести до повної відмови від традиційних систем зберігання (хоча це зовсім не обов'язково, тому що необхідно здійснювати підтримку безлічі «успадкованих» додатків). Тим часом у багатьох організаціях зони відповідальності адміністраторів традиційно розділені, а виходить, ті, хто обслуговує системи зберігання, можуть сприймати НСІ як погрозу своєму положенню й своїй роботі, що може викликати опір з боку співробітників. Звичайно, цей фактор здатний виявитися в першу чергу у великих компаніях, оскільки в невеликій й середній ІТ-фахівці найчастіше є універсалами й спрощення керування будуть тільки привітати.

Гіперконвергентні пристрої розглядаються насамперед як рішення для невеликих компаній, і багато постачальників позиціонують їх саме так. Однак у звіті «Стан ринку гіперконвергентної інфраструктури», підготовленому ActualTech Media, затверджується: чим більше організація, тим вище ймовірність того, що вона вже використовує гіперконвергентні рішення. Правда, великі компанії здобувають їх переважно для установки у своїх філіях і віддалених офісах.

Основним додатком, для підтримки якого споконвічно використовувалися гіперконвергентні пристрої, були тонкі клієнти – віртуальні робочі місця (Virtual Desktop Infrastructure, VDI). Як відзначають експерти ActualTech Media, хоча VDI залишається важливим драйвером для впровадження НСІ, сьогодні вона усе більш широко застосовується й для інших робочих навантажень. Гіперконвергентна інфраструктура споконвічно розрахована на підтримку віртуальних машин, а виходить, і будь-яких навантажень у вигляді VM.

Так, крім підтримки VDI, в SimpliVity виділяють цілий ряд сценаріїв застосування для гіперконвергентних пристроїв, у тому числі підтримку критичних для бізнесу додатків (Tier I application). Серед інших можливих застосувань називаються створення середовища для тестування й розробки, модернізація резервного копіювання, відновлення після аварій, спрощення адміністрування віддалених площадок, плавна модернізація успадкованої інфраструктури й, нарешті, консолідація серверів і центрів обробки даних.

Багато які аналітики сумніваються в тому, що НСІ у вигляді гіперконвергентних пристроїв підходить для підтримки критичних для бізнесу додатків і є адекватним рішенням для модернізації ЦОДа. Такі додатки, як ERP і CRM, прийде переписувати або оптимізувати для роботи в розподіленому середовищі. Тому для їхньої підтримки більше підходять конвергентні (а не гіперконвергентні) рішення із традиційною архітектурою. У ЦОДах можуть гостріше виявитися такі слабкі місця гіперконвергентних пристроїв, як міжз'єднання вузлів (підтримка мережі) і обмежена масштабованість. Однак з появою гіперконвергентних архітектур EVO:RAIL від VMware і VxRack від EMC інфраструктура НСІ може одержати більше широке поширення в ЦОДах.

Як би те не було, інтерес до гіперконвергентних рішень стрімко росте, про що свідчать обсяги продажів. Почасти таку їхню популярність (поки за рубежом) можна

пояснити тим, що далеко не всі замовники готові перенести робочі навантаження в публічну хмару. Тим часом багато компаній зацікавлені в реалізації хоча б деяких переваг хмарних технологій у власній інфраструктурі, і гіперконвергентні рішення допомагають їм це зробити

Розробка структурної схеми

Якщо говорити про гіперконвергенцію взагалі, то це споконвічна інтеграція в одне ціле двох і більше різнорідних компонентів. Ключовим словом тут є «споконвічна»: для досягнення найбільшого ефекту компоненти повинні бути інтегровані з нуля, а не просто об'єднані один з одним. Так про які ж компоненти мова йде?

У поточному ІТ-дискурсі часто маються на увазі гіперконвергентні системи зберігання, однак для стислості згадування про їх опускається. Таким чином, на самому елементарному рівні можна говорити про з'єднання обчислювальних потужностей і ресурсів зберігання в одному пристрої. Однак таке розхоже розуміння (фактично воно припускає звичайний сервер) жорстко критикується основними галузевими гравцями, оскільки вендори цілком обґрунтовано вважають, що воно не відбиває всієї повноти картини й до того ж фокусується на окремому пристрої, випустити з уваги відповідну інфраструктуру (Hyper Converged Infrastructure, HCI). Гіперконвергентні рішення являють собою щось більше, ніж об'єднання в загальний пул обчислювальних ресурсів і засобів зберігання.

Однак, як звичайно буває, особливо коли ринок тільки формується, кожний з постачальників розуміє модний термін так, як йому вигідно. Останнє твердження зовсім не має на увазі негативних коннотацій – кожний прагне підкреслити найбільш сильні сторони своїх рішень. Наприклад, деякі постачальники акцентують увагу на убудованому захисті даних – підтримці функції резервного копіювання, відновлення даних, тиражування, дедуплікації й стиску, однак аналітики Gartner вважають наявність таких можливостей опціональним для гіперконвергентних рішень, які вони розглядають у якості однієї з різновидів інтегрованих систем.

У вузькому розумінні гіперконвергенція – це програмно обумовлений підхід до керування зберіганням, що поєднує засобу зберігання, обчислювальні потужності, мережні ресурси й технології віртуалізації в одному фізичному пристрої, керування яким здійснюється як єдиною системою (визначення techtarget.com). У широкому змісті гіперконвергенція – це об'єднання обчислювальних потужностей, мережних ресурсів і засобів зберігання з використанням стандартних компонентів x86 у якості загальних будівельних блоків, при цьому інтелект більше не прив'язаний до окремих фізичних пристроїв – всі функції центра обробки даних виконуються як програмне забезпечення на гіпервізорі (трактування VMware).

Якщо перше визначення фокусується на окремому пристрої й зберіганні, то друге по своїй суті еквівалентно програмно обумовленому центру обробки даних. Фактично обое визначення задають напрямок розвитку гіперконвергентних рішень: від інтегрованих пристроїв, поєднаних у кластер, до повномасштабного програмно обумовленому ЦОДу. Однак вони опускають ряд важливих конкретних деталей – наприклад, відмова від окремої мережі зберігання даних (Storage Area Network, SAN).

Гіперконвергенція пропонує повноцінну альтернативу домінуючій моделі використання виділених систем зберігання. Вона припускає відмову від окремого рівня зберігання (див. рис. 1), що розглядається як одне із ключових переваг HCI.

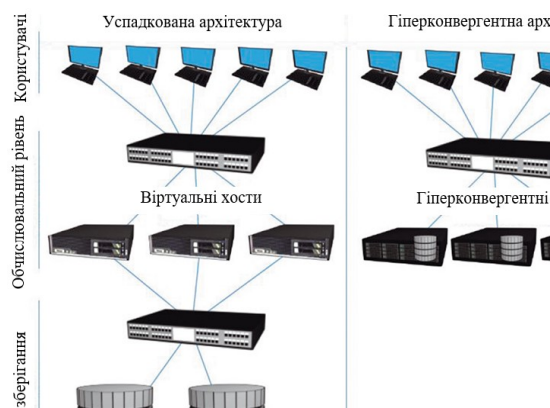


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Возз'єднання обчислювальних ресурсів і ресурсів зберігання в одному пристрої може породити побоювання про повернення в 90-е роки, коли переважали системи, що підключаються прямо, зберігання (Directed Attached Storage, DAS). Однак, на відміну від колишніх архітектур, гіперконвергентна не приводить до утворення ізольованих острівців зберігання. Щоб кожний сервер міг скористатися ресурсами зберігання на інших системах, вона опирається на програмно обумовлені рішення в області зберігання (Software-Defined Storage, SDS).

Програмно обумовлений підхід припускає триетапний процес: абстрагування, об'єднання в пул і автоматизація. Завдяки програмному рівню абстрагування фізичних ресурсів, всі сервери фактично перетворюються у вузли єдиного кластера. Абстрагування фізичних компонентів окремих серверів дозволяє об'єднати в загальний пул їхні ресурси зберігання, які потім представляються кластеру як зв'язне ціле. Автоматизація дозволяє спростити й прискорити керування, реалізуючи різного роду високорівневі функції.

Гіперконвергентні системи звичайно складаються з декількох фізичних модулів (вузлів), поєднаних у горизонтально масштабований кластер. Кожний з них містить обчислювальне ядро, ресурси зберігання, мережні компоненти й, як правило, гіпервізор. Наявність останнього формально не обов'язково, але він є у всіх основних продуктах відомих вендорів, причому нерідко на вибір пропонуються два гіпервізора або більше.

Окремий пристрій (appliance) має від одного до чотирьох вузлів, кожний з яких являє собою самостійний сервер із процесором і пам'яттю в загальному шасі. Гіперконвергентні кластери звичайно містять від 4 до 64 вузлів, хоча деякі виробники не вказують конкретних меж масштабованості. Щоб вузли могли спільно використовувати ресурси зберігання, застосовуються програмне забезпечення для створення віртуальної мережі зберігання або кластерна файлова система.

Програмне забезпечення для реалізації гіперконвергентної інфраструктури може пропонуватися як окремо, так і передвстановленим на фізичні пристрої (appliance). Кожний підхід має свої плюси й мінуси. У випадку покупки ПЗ недолік полягає в тому, що замовникові прийде окремо здобувати встановлення й потім самостійно його встановлювати, а перевагою є можливість самостійно вибирати апаратне забезпечення (на відміну від придбання готових пристроїв із передвстановленим ПЗ). Основну частину пропонованих на ринку рішень становлять повністю готові самодостатні обчислювальні системи, хоча деякі стартапи роблять ставку на пропозицію відповідні ПЗ (правда, найчастіше замовники купують його не прямо, а вже передвстановленим на сервери, чим займаються OEM-партнери розроблювачів або інтегратори).

Найчастіше постачальники (насамперед із числа тих же стартапів) розробляють своє власне програмне забезпечення для реалізації функцій зберігання й керування або ці функції виконуються як віртуальна машина на використовуваному гіпервізорі. Так, у багатьох продуктах використовується віртуальний пристрій зберігання (Virtual Storage Appliance, VSA) для об'єднання ресурсів зберігання в загальний пул. Інший підхід складається у

використанні платформи VMware EVO:RAIL, свого роду референсної архітектури, у якій функції зберігання й керування інтегровані у відповідний гіпервізор.

Дозволяючи позбутися від виділеної мережі зберігання, гіперконвергентна інфраструктура фактично реалізує віртуальну мережу зберігання (Virtual SAN, VSAN). Звичайно така SAN припускає використання VSA у вигляді ВМ. Віртуальний пристрій зберігання надає функції контролера зберігання для гіпервізора в кластері. Ресурси зберігання фізичного вузла надаються VSA. Група VSA спільно створює віртуальну мережу зберігання. Виключенням із цього підходу є реалізація VSAN компанії VMware. Сервіси зберігання містяться безпосередньо в ядро vSphere, так що рішення повністю інтегрується в vSphere. Однак необхідне використання vSphere 5.5 або більше пізніх версій.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.

Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.
- Досліджена система гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи гіперконвергенції ІТ-інфраструктури.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання гіперконвергенції ІТ-інфраструктури. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3628, pp. 106-115.
2. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». Advanced Information Systems, 2023, 7(2), pp. 49-56.
3. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
4. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2023, 178, pp. 208–223.
5. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». CEUR Workshop Proceedings Volume 3156, 2022, Pages 390-399.
6. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
8. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
11. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 125-136.

12. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
13. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
14. Smirnov O., Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
16. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
17. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.
18. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
19. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.
23. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.
24. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем ІР-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.
25. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувацького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
26. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». Проблеми інформатизації та управління, № 2(70). 2022. С. 28-37.