

УДК 004

О. Драганець, магістр гр. КІ-24Мз,

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРНОЇ ПЛАТФОРМИ

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

гіперконвергентна інфраструктурна платформа

Постановка проблеми. Не таємниця, що для кращого використання ресурсів, у будь-яких системах, інформаційні не виключення, ресурси варто збирати в загальні пули, для того, щоб їх можна було доцільно перерозподіляти. У комп'ютерингу оптимізація в частині використання ресурсів почалася давно, ще із систем розподілу часу. Потім прийшла черга віртуалізації. У другому десятилітті ХХІ століття фокус уваги природно змістився на гіперконвергенцію й дезагрегацію, тому що на даному рівні розвитку технологій створювати ресурсні пули можна цими двома альтернативними способами. Розходження між ними полягають у відношенні до віртуалізації. Якщо залишатися на фізичному рівні, то варто діяти засобами дезагрегації. Якщо ж фізичні ресурси можна перетворити у віртуальні, то тоді переважніше засобу гіперконвергенції. Гіперконвергенція дозволяє створювати програмно-центричні інфраструктури, у яких тісно інтегровані різноманітні «апаратні ресурси» (commodity hardware), але на ринок такі інфраструктури виводяться під брендом одного вендору.

Префікс «гіпер» припускає існування й просто конвергентних систем. Спільно два типи систем утворюють підхід, що споконвічно називали інтегрованим стеком (integrated stack). Загальним для обох є те, що в масштабований стек збираються три основні компоненти – мережі, сервери й системи зберігання інформації (СЗД), і вони поєднуються засобами віртуалізації й керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.

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

- Огляд існуючих систем гіперконвергентної інфраструктурної платформи.
 - Дослідження системи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.
 - Програмна реалізація системи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.
- Об'єктом дослідження є процес гіперконвергентної інфраструктурної платформи.*

Предметом дослідження є методи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.

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

Виклад основного матеріалу. Конвергентна й гіперконвергентна інфраструктури спрощують підтримку інфраструктури віртуальних робочих столів і віртуалізації настільних систем, оскільки вони розроблені з орієнтацією на просту установку й виконання складних завдань.

Конвергентна інфраструктура поєднує в одному корпусі чотири основних компоненти ЦОД: обчислювальні пристрої, пристрої зберігання, мережні пристрої й засоби віртуалізації серверів. Гіперконвергентна інфраструктура дозволяє домогтися більше щільної інтеграції більшого числа компонентів із застосуванням програмних засобів.

І в конвергентній, і в гіперконвергентній інфраструктурі всі елементи сумісні в роботі один з одним. Завдяки цьому ви зможете для своєї компанії одноразово закуповувати необхідні пристрої зберігання й мережні пристрої, а вони, як відомо, мають величезне значення в інфраструктурі віртуальних робочих столів. Це дозволяє спростити процес розгортання такої інфраструктури – те, чого так довго чекали й чому зрадіють багато компаній, яким необхідно здійснити віртуалізацію настільних систем.

Незважаючи на свою цінність і інноваційність, до даних технологій є кілька питань щодо цільового призначення й відмінностей. Спробуємо розібратися з тим, які функціональні можливості пропонують конвергентні й гіперконвергентні інфраструктури й чим вони відрізняються.

Що таке конвергентна інфраструктура?

Конвергентна інфраструктура поєднує в одному шасі обчислювальні пристрої, сховища, мережні пристрої й засоби віртуалізації серверів, завдяки чому ними можна управляти з одного місця. До можливостей керування може відноситися й керування інфраструктурою віртуальних робочих столів, залежно від обраної конфігурації й виробника.

Апаратні засоби, що йдуть у комплекті конвергентної інфраструктури, попередньо налаштовані на підтримку будь-яких цільових завдань: інфраструктури віртуальних робочих столів, бази даних, спеціальні додатки й так далі. Але фактично у вас немає достатньої волі для зміни обраної конфігурації.

Незалежно від обраного способу розширення середовища інфраструктури віртуальних робочих столів, ви повинні розуміти, що наступне вертикальне масштабування буде витратним і зажадає багато часу. Додавання окремих компонентів перетворюється стає складним і позбавляє вас багатьох переваг конвергентної інфраструктури. Додавання робочих машин і розширення ємності зберігання в корпоративній інфраструктурі може бути таким же дорогим, що говорить про необхідність правильного планування будь-якого розгортання інфраструктури віртуальних робочих столів.

З іншого боку, усе компоненти конвергентної інфраструктури можуть працювати протягом тривалого часу. Приміром, комплектний сервер такої інфраструктури працює добре навіть без інших компонентів інфраструктури.

Розвиток ІТ-Технологій не стоїть на місці, у світло виходять нові більше ефективні рішення, і одним з таких нововведень є конвергентні інфраструктури.

Converged Infrastructure (CI), або конвергентні інфраструктури, – це відроджені мейнфрейми, технологія CI насамперед дозволяє зібрати разом обчислювальні потужності роз'єднаних серверів, технології зберігання даних, що дозволяє забезпечувати більше ефективну динамічність систем. Поряд з розвитком цих технологій з'явилася й нечисленна категорія інших машин – analytic appliance, які дозволяють обробляти більші масиви даних буквально в режимі реального часу.

Що ж таке CI – конвергентна інфраструктура?

– CI – насамперед – це сукупність взаємодоповнюючих компонентів – модулів зберігання даних, серверів, програмного забезпечення, мережного встаткування, керування, а так само засобів автоматизації.

– CI – це продукт еволюції корпоративних ЦОД, у загальному виді, Converged Infrastructure – це мейнфрейми, що володіють більше оптимальною архітектурною гнучкістю.

Фахівці затверджують, що існує три основних причини придбання конвергентної інфраструктури:

- досить великий вік технологій віртуалізації;
- неминуче старіння нинішньої інфраструктури;
- визнана ефективність приватних хмар.

Розвиток конвергентних інфраструктур ні в кого не залишає сумніви, багато Хто ІТ-компанії вже спеціалізуються на розробці CI. Усім відомі VMware, Dell-EMC, Intel і Cisco запропонували ринку конвергентних інфраструктур Vblock, а NetApp, VMware і Cisco змогли запропонувати інфраструктуру FlexPod, корпорація Oracle є розроблювачем Private Cloud Architecture, а Dell має у своєму анамнезі Virtual Integrated System, а IBM представляє PureSystems.

Конвергентні інфраструктури умовно підрозділяються на три групи:

- Reference Architecture – референсна архітектура.
- Single Stack Infrastructure – інфраструктура єдиного стека.
- True Converged Infrastructure – істинно конвергентна архітектура.

Референсна архітектура

Референсна архітектура – це сукупність шаблонів рішень для CI. Сюди можна віднести VSPEX від EMC, а так само FlexPod від NetApp.

Основа FlexPod – це продукти NetApp, такі як, накопичувачі FAS6200, програмна ж частина – це операційна система Data ONTAP. Фактично, FlexPod – це не закінчене рішення, а до певної міри рекомендація зі створення архітектури.

Поки відомо кілька конфігурацій FlexPod, найпоширеніша з яких – це FlexPod для VMware, що збирається на базі vCenter Standard, Cisco Unified Computing System, комутаторів Nexus, а так само керуючого ПЗ.

VSPEX – у принципі, та ж сама референсна архітектура, але яка надає більшу волю вибору, але, загалом кажучи, він не поставляється окремо у вигляді самостійного продукту. Існує 14 конфігурацій, що підтримують хмарні додатки, у кожній з яких відбувається різне сполучення компонентів – керуючого ПЗ, гіпервізори, стійкові сервери, комутатори й системи зберігання.

Стекові інфраструктури

До таких інфраструктур можна віднести Dell Active System (раніше називалися vStart) і IBM PureSystems.

Dell Active System

Існує чотири версії Dell Active System, у кожній з яких зібрані в одну стійку системи зберігання, сервери, що управляє ПЗ. Кожна версія має індекс, що вказує число віртуальних машин – Active System 50, Active System 200, Active System 800 і Active System 1000. Установка цих систем досить проста, за словами розроблювачів, такі системи можуть являти собою подоба корпоративного iPod, у якому є тільки саме необхідне, тому що система призначена для простих користувачів, які не повинні зазнавати труднощів про відновленні ПЗ або моніторингу пристроїв. Саме рішення виконується в заводських умовах, користувач лише підключає його до мереж – електричної й інформаційної. Dell Active System складається із серверів PowerEdge, систем керування Dell Management, комутуючих пристроїв PowerConnect і пристроїв зберігання EqualLogic.

Всі системи оснащені передвстановленим гіпервізором, причому, якщо назва кінчається на m, те, виходить, система оснащена Microsoft Hyper-V, а v – VMware ESXi. Рішення vStart комплектуються Windows Server 2008 R2 Datacenter Edition, що надає більші можливості віртуалізації й використання Dell OpenManage, для якого необхідна наявність

спеціального процесора, що відслідковує системи зберігання й сервери. Моделі Dell Active System комплектуються двомісячною ліцензією ESXi, а так само консоллю vCenter Server.

Половина стійки займається версією Active System 50, де розташовані сервера PowerEdge R630 у кількості двох штук і пам'яттю до 64Гб у кожному, а так само комутатором на 24 порту, що підключається до мережі зберігання, і, крім того, дисковим масивом EqualLogic PS6100X обсягом 28,8 Тб.

Версія Active System 100 оснащена одним сервером PowerEdge R630, трьома Dell R730 і сховищем PS6000XV, а версія ctive System 200 уже має шість серверів R730 і два накопичувачі, крім того, обидві ці версії оснащені накопичувачем типу PowerConnect 6248.

IBM PureSystems

Розробка цієї системи велася ще з 2008 року, однак, про вихід продукту заявили лише у квітні 2012. Поки ще не можна повністю оцінити готове рішення, компанія IBM представляє лише перші наробітки в цій сфері. Фахівці затверджують, що поява PureSystems порівнянна з появою в 1964 році мейнфрейма System/360. Поряд із цим, IBM знову здобуває статус розроблювача закінчених рішень. Багато хто затверджує, що з появою PureSystems неминуче відбудеться поступовий відхід блейд-серверів.

Рішення PureSystems – це прорив, у ньому все ново – починаючи від самого виконання й закінчуючи системою керування. Загалом кажучи, PureSystems – це сімейство, що поки що містить у собі два члени – PureFlex System, а, крім того, PureApplication System. Перше рішення має три версії.

IBM PureSystems – прогрес даного рішення в наявності, навіть у конструктивних особливостях. Розроблювачі відмовилися від стандартного 1U форм-фактора, розробивши нове поняття «шасі», що може бути заповнено будь-яким устаткуванням, створеним у нових універсальних форм-факторах. Подібне рішення – це можливість для інтеграції в одну інфраструктуру всіляких систем – мережних і обчислювальних ресурсів, пристроїв зберігання й т.д. конструктивно система виконана у вигляді шасі 10U, причому, одна стійка може вмістити в себе 4 таких шасі. Подібна конструктивна реалізація доводить, що IBM зволіла піти від серверів-лез.

PureFlex System створена як інфраструктурна основа приватних хмар, складається із двох основних компонентів – це обчислювальні вузли, сконструйовані на основі процесорів Intel і IBM Power, а так само системи керування IBM Flex System Manager. СЗД у цьому випадку служать Storwize V7000. ОС для даного рішення – це Windows, SUSE Linux Enterprise Server і т.д, а гіпервізори – Microsoft Hyper V і VMware ESX.

Шасі Flex System Enterprise Chassis сконструйовано так, що має 14 або 7 місць, у яких розміщуються обчислювальні вузли. Усе шасі мають автономне живлення, потужні системи охолодження, керування й вводу-виводу. Два модулі Chassis Management Modules здійснюють керування, які працюють разом з модулем Integrated Management Module. У свою чергу система IBM Flex System Manager служить для віртуалізації, керування системою зберігання й мережами, а уведення-вивід здійснюється за допомогою адаптерів, які дозволяють робити обмін даних по мережі Fibre Channel, FCo, Ethernet, і InfiniBand.

А от системи інтелекту PureFlex представлені в традиційні й зовсім нових формах. До традиційних рішень можна віднести системи підвищення надійності, зручності сервісу й готовності, крім того, систему виявлення причин виникаючих проблем, а так само зв'язок із сервісом IBM, одержання й зберігання даних про порушення системи. Крім того, система може протистояти мережним атакам і спробам злому.

Немаловажне значення має й технологія Expert Integrated System, що накопичує різний досвід роботи PureFlex, поки що вона не автоматизує використання системи, однак, помітно полегшує роботу оперативного персоналу, а, крім того, пред'являє занижені кваліфікаційні вимоги до операторів.

Загалом кажучи, існуюча база даних, що є сховищем шаблонів експертизи, що містять відомості, наприклад, про те, як правильно збалансувати навантаження, як розподіляти ресурси системи. Сама бібліотека створюється виробником системи, однак, доступ до неї

відкритий і для інших виробників ПЗ, вони так само можуть поповнювати її шаблонами, що рекомендують тієї або іншої дії.

Lenovo IBM Flex System здатна містити 4 різних обчислювальні моделі. Приміром, система Flex System x240, а так само IBM Flex p24L містить два сокета, призначених для ядер Intel Xeon, система IBM Flex p460 оснащена чотирма сокетом для процесорних рішень IBM Power7, а Flex System p260 – два сокета для того ж Power7, однак, всі моделі можуть мати до десяти різновидів, які розрізняються кількостями ядер, параметрами адаптерів і т.д.

За гнучкість уведення-виводу відповідають до дев'яти контролерів, але в системі PureFlex відсутні убудовані системи зберігання інформації, за неї відповідають накопичувачі Storwize V7000.

Мабуть, навіть важко представити, які гігантські можливості надає подібний універсальний конструктор, тому для полегшення вибору компанія IBM виділяє три основних комплектації. Таким чином, для малого або середнього бізнесу призначаються System Express, System Standard – це підтримка стандартних корпоративних пропозицій, а System Enterprise – система, призначена для СУБД із більшим обсягом інформації й з підвищеною вимогою надійності.

PureApplication System

PureApplication System не сильно відрізняється від вищезгаданої системи PureFlex, однак, вона характерна не занадто розвинутою мережною підсистемою, але більшою кількістю процесорів, крім того, рішення має убудовану систему зберігання. Рішення PureApplication дозволяє встановлювати від 96 до 608 ядер, оперативна ж пам'ять варіюється від 1,5 Тб до 9,7 Тб, сховище даних має обсяг 6,4 Тб на твердотільних дисках і 48 Тб звичайних жорстких дисків.

Існують так само платформи, призначені для певних класів застосунків. В 2008 році у світло вийшла платформа Exadata – Oracle Database Machine, що була створена разом з HP. Однак, уже через два роки була розроблена машина сполучні ПЗ – Exalogic Elastic Cloud. Обидва рішення призначені для створення хмарних сервісів, характерні горизонтальною масштабованістю, а так само забезпеченням швидкої підтримки і розгортання застосунків.

Exalogic, в основному, призначена для взаємодії з Oracle Fusion Middleware, Oracle Fusion Applications, а так само Enterprise Java, однак, поряд із цим дозволяє використовувати й додатки, адаптовані до Weblogic. Дане рішення являє собою повністю сконфігуровану закінчену систему, що містить у собі сервери, модулі зберігання інформації, комутаційні компоненти. Існує три базові конфігурації – Full Rack, Half Rack і Quarter Rack, у кожній з яких є в наявності засоби резервування, необхідні мережні елементи, а так само кластеризована система даних. Конфігурація стійки дозволяє мати від 8 до 30 модулів обчислення як x86, так і x64. Цікаво, що обчислювальні модулі автономні й мають власне окреме живлення, а так само по двох накопичувачах SSD, на яких утримуються діагностична інформація, а так само образ операційної системи. Система Exalogic заснована на мережі InfiniBand Fabric, що може зв'язувати компоненти, одержуючи, у підсумку, єдиний мейнфрейм. Подібне середовище розроблене для корпоративних Java-застосунків, крім того, існує друга версія цієї системи, у якій замість SSD твердотільних накопичувачів присутні звичайні магнітні жорсткі диски, що відповідають вимогам СУБД.

HP CloudSystem Matrix

А от рішення HP CloudSystem Matrix засноване на архітектурі BladeSystem. Модель складається із сукупності мережних і обчислювальних елементів, модулів зберігання інформації, елементів живлення й системи охолодження. На даний момент відомі дві моделі – це BladeSystem Matrix, зібраний на RISC-процесорах, або на архітектурі x86. Базовий комплект цього рішення являє собою набір двох модулів комутування Virtual Connect Flex-10, сервер управління HP ProLiant DL360, а так само ПЗ Matrix Operating Environment, а рішення з ОС HP-UX характерно наявністю ліцензії HP-UX 11i v3 VSE-OE Integrity. Щоб забезпечити постійну доступність, а так само відновлення у випадку яких-небудь збоїв на платформу Integrity додається компонент HP Serviceguard.

Інфраструктура розроблена таким чином, що дозволяє планувати навантаження й виділення ресурсів системи, а так само вносити які-небудь необхідні зміни. У системі відбувається регулярне фіксування таких показників, як потужність, завантаження мережних ресурсів і процесорів. Великий спектр рішень HP BladeSystem Matrix, убудованих у систему може захистити й автоматично відновити робочий стан компонентів, а так само ліквідувати наслідку збоїв. За допомогою цієї системи віртуальні й фізичні сервера вертаються в робочий стан за секунди, а система Virtual Connect дозволяє швидко створювати локальні мережі, призначені для зберігання інформації всієї інфраструктури. подібна технологія дозволяє значно спростити зв'язність сервера й збільшити пропускну здатність мережі.

Технологія Matrix Orchestration Environment дозволяє значно спростити процес створення інфраструктури для конкретного додатка, а так само подальша його підтримка. У ході планування Matrix Orchestration Environment розробляє шаблон, у якому втримується опис серверів, а так само їхніх з'єднань між собою, після чого шаблон уже використовується для розробки конкретної конфігурації при створенні певної інфраструктури в Matrix.

Існує так само досить численна категорія інфраструктур, поява якої було обумовлено наявністю проблем великого обсягу даних. Подібні системи досить різноманітні, однак, їх поєднує повсюдне використання архітектур на основі масового паралелізму.

Подібні системи розробляються з 1984 року, уперше цією проблемою всерйоз зацікавилася фірма Teradata, її сьогоденній продукт – це Active Enterprise Data Warehouse, що характерно наявністю власного зв'язку за назвою Bynet. Крім того, у цей час компанія Netezza пропонує власне рішення за назвою Performance Server, де відбувається сполучення стандартних лез зі спеціальними Snippet Processing Unit.

А от деякі компанії можуть запропонувати винятково програмні рішення даної системи, засновані на MPP-конфігураціях, як апаратна частина які використовую стандартні сервери. Універсальні такі системи тим, що не мають особливої прив'язки до тої або іншої апаратної конфігурації, у їхній основі лежить технологія MapReduce. Як приклад, може виступати рішення Vertica Analytics Platform, однак, система не виявляє особливих вимог до апаратної частини, єдине побажання розроблювачів – це двоядерні процесори – одне ядро призначене для ОС, а друге – для роботи з даними. Все інше, що необхідно для створення самої СУБД, уже закладено в системі.

Oracle Exalytics характерна наявністю 1 Терабайт оперативної пам'яті, а, крім того, 40 процесорів, а так само системою TimesTen In-Memory Database, що використовує алгоритм збереження даних, використовуваних найчастіше.

Конкурентами Exalogic поки що є IBM Smart Analytics Systems, а так само EMC Greenplum, однак, на відміну від цих систем, Exalytics здатний взаємодіяти тільки з Exadata, що служить джерелом даних Adaptive In-Memory Cache.

І останнє рішення в сфері конвергентних інфраструктур – це щира конвергентна інфраструктура, подібне рішення вийшло в результаті спільної роботи трьох корпорацій - Cisco, Dell EMC, VMware, а так що само примкнули Intel. У результаті їхньої діяльності світло побачила спільна організація за назвою Virtual Computing Environment. Дана фірма пропонує набір продуктів Vblock, характерних наявністю наступних компонентів – системи віртуалізації, такі як VMware vCenter Server, VMware vSphere, комутаторів Nexus і Cisco, системи обчислення – Cisco Unified Computing System, а так само технологій зберігання інформації EMC Symmetrix VMAX, систем безпеки RSA enVision, а так само апаратних елементів – кабелів, стійок, ІБЖ і т.д.

Подібне рішення досить непросте, тому його остаточне складання має деякі складності. У зв'язку із цим три корпорації об'єднали виробництво й поставку готових рішень. Така єдність значно спрощує процес створення й розгортання інфраструктур, тому що кожна модель перевірена й оптимізована для більше ефективного використання наявних ресурсів. Існує кілька версій Vblock – 0, 1, Series 300 і 700, які відрізняються розміру й технологіями зберігання даних. Початкове рішення – це версія Vblock 0, що сконструйована на накопичувачі Celerra, а саме потужне рішення – це версія Vblock 700 на системі

зберігання Symmetrix. Крім того, рішення середнього рівня, такі як Vblock 300, створені на основі накопичувача VNX. EMC Atmos – це система об'єктного зберігання, призначена для хмарних обчислень, що підтримує обсяги даних до петабайта.

Загалом, розвиток конвергентних інфраструктур – це прорив у сфері IT-Технологій, що приведе до відсутності необхідності безлічі фахівців, що працюють у сфері певних технологій. Крім того, безліч підприємств зможе підібрати необхідні для себе рішення, налаштовані для рішення тих або інших виробничих завдань.

Що таке гіперконвергентна інфраструктура?

Гіперконвергентна інфраструктура була побудована на базі конвергентної інфраструктури й поданні про програмно-визначаємий ЦОД. Вона поєднує всі компоненти звичного нам ЦОД в одній системі. Всі чотири ключових компоненти конвергентної інфраструктури на місці, але іноді в неї також входять додаткові компоненти, такі як ПЗ для резервного копіювання, можливості миттєвих знімків, функціонал дедуплікації даних, проміжне стиск, оптимізація роботи глобальної обчислювальної мережі (ГОМ) і багато чого іншого. Конвергентна інфраструктура в першу чергу опирається на апаратні засоби, а програмно-визначаємий ЦОД найчастіше адаптується під будь-яке апаратне забезпечення. У гіперконвергентній інфраструктурі ці дві можливості об'єднані.

Підтримка гіперконвергентної інфраструктури здійснюється одним постачальником. Нею можна управляти, як однією системою за допомогою єдиного набору інструментів. Для розширення інфраструктури просто потрібно встановити блоки необхідних пристроїв і ресурсів (наприклад, сховище) в основний системний блок. І робиться це буквально на лету.

Тому що гіперконвергентна інфраструктура є програмно-визначаємий (тобто, робота інфраструктури логічно відділена від фізичного встаткування), взаємна інтеграція компонентів більше щільна, чим у звичайній конвергентній інфраструктурі, а самі компоненти повинні перебувати поруч, щоб працювати коректно. Це дозволяє використовувати гіперконвергентну інфраструктуру для підтримки ще більшої кількості робочих навантажень, чим у випадку зі звичайною конвергентною інфраструктурою. Це пояснюється тим, що в ній є можливість зміни принципу визначення й настроювання на програмному рівні. Крім того, ви зможете зробити так, щоб вона працювала зі спеціалізованими додатками й робочими навантаженнями, чого попередньо налаштовані конвергентні інфраструктури робити не дозволяють.

Гіперконвергентна інфраструктура особливо коштвна для роботи з інфраструктурою віртуальних робочих столів, оскільки дозволяє виконувати швидке масштабування без додаткових витрат. Найчастіше у випадку із класичною інфраструктурою віртуальних робочих столів всі зовсім по-іншому – компаніям перед масштабуванням необхідно купувати більше ресурсів або чекати, поки віртуальні робочі столи використовують виділений простір і мережні ресурси, а потім по факті додавати нову інфраструктуру.

Обидва сценарії вимагають серйозних грошових і тимчасових витрат. Але, у випадку з гіперконвергентною інфраструктурою, при необхідності розширення сховища ви можете просто встановити необхідні пристрої в існуючих стек. Масштабування можна виконувати швидко – протягом часу, необхідного для поставки встаткування. При цьому вам не прийде проходити повну процедуру повторної оцінки й перенастроювання корпоративної інфраструктури.

Крім того, при переході з фізичних ПК на віртуальні робочі системи вам будуть потрібні пристрої для виконання всіх обчислювальних операцій, які звичайно виконують ноутбуки й ПК. Гіперконвергентна інфраструктура із цим дуже допоможе, оскільки найчастіше йде в комплекті з більшим обсягом флеш-пам'яті, що позитивно позначається на продуктивності роботи віртуальних робочих столів. Це підвищує швидкість операцій уведення/виводу, згладжує роботу при високих навантаженнях, і дозволяє вам виконувати сканування на віруси й інші види моніторингу у фоновому режимі (не відволікаючи користувачів).

Гнучкість гіперконвергентної інфраструктури робить її більше масштабованою й рентабельною, у порівнянні з конвергентною, оскільки в ній є присутнім можливість додавання обчислювальних пристроїв і пристроїв зберігання в міру необхідності. Вартість початкових капіталовкладень для обох інфраструктур висока, але в довгостроковій перспективі вартість вкладених коштів повинна окупитися.

На сьогоднішній день багато замовників у сфері середнього й великого бізнесу переходять до використання гіперконвергентних систем при розгортанні корпоративної IT-інфраструктури, і це обумовлено безумовними плюсами даних систем: легкістю масштабування і єдиним програмним інтерфейсом керування.

Гіперконвергентні системи поєднують у собі сервери, системи зберігання даних, мережний функціонал і програмне забезпечення. Такий підхід дозволяє знизити тимчасові й бюджетні витрати при створенні інфраструктури, а також спрощує експлуатацію системи.

По даним Gartner ринок гіперконвергентних платформ (HCI – Hyper-Converged Infrastructure) стрімко росте й досягне до 2026 року 5 мільярдів доларів. на даний момент HCI найбільш застосовні в сфері корпоративних ЦОД з кількох причин:

- Вирішують завдання масштабування IT-інфраструктури.
- Знижують витрати на розширення IT-інфраструктури.
- Зменшують кількість керованих систем.
- Збільшують швидкодію за рахунок використання SSD-Накопичувачів.
- Оптимізують програмну й апаратну платформи для спільної роботи.

Крім цього HCI дозволяють розгортати програмно-конфігуруємі ЦОДи (SDDC)

Архітектура й рішення різних виробників

HCI, як правило, складаються з декількох модулів, що становлять горизонтально-масштабований кластер, що містить звичайно від 4 до 64 вузлів. Кожний з вузлів містить у собі обчислювальне ядро, систему зберігання, мережні ресурси й гіпервізор.

Крім цього, HCI поставляються програмним забезпеченням для розподілу ресурсів системи й керування масштабуванням. ПЗ може бути встановлене заздалегідь або поставлятися окремо – більша частина HCI-рішень поставляється із передінстальованими програмними компонентами.

Крім традиційних HCI існують і рішення з референсною архітектурою, що дозволяє компонувати HCI під конкретне завдання. Такі системи пропонують розроблювачі платформи EVO:RAIL. Система Glob від компанії Green IT може використовувати зовнішню СЗД, різні процесори, включаючи бюджетні варіанти Intel Xeon. Рішення Huawei FusionCube дозволяє вибирати блейд-вузли половинної або повної довжини з різними типами накопичувачів. Крім цього, деякі системи, наприклад, NetApp FlexPod використовують замість традиційних СЗД системи SDS.

Завдання й сценарії роботи

Більшість із існуючих HCI здатні вирішувати широке коло завдань:

- Підтримка застосунків аналітики й систем OLTP.
- Підтримка критично важливих застосунків.
- Створення ресурсного пула на основі серверів і модернізація інфраструктури ЦОДа.

- Розгортання VDI і часток хмарних систем.

HCI можна застосовувати для віртуалізованих застосунків, при цьому для різних віртуальних середовищ використовуються спеціальні конфігурації. Наприклад, для середовищ VMware оптимізовані системи VxRail, що використовують програмне забезпечення VMware vSphere і VMware VSAN. Цільовими завданнями цієї платформи є: аналітика «великих даних», Microsoft Exchange, САПР, наукові розробки, середовища вилучених філій і офісів, а також навантаження з підвищеними вимогами до графічних ресурсів.

Крім цього, виробники пропонують референсні системи для більше вузького класу навантажень, таких як додатка ERP і CRM.

Завдяки гнучкості рішень, великій кількості виробників і широкому вибору продуктів системи HSI закономірно займають свою нішу в сфері великого бізнесу при розгортанні масштабних ЦОД. Разом з тим, з'являються нові системи, які можуть бути актуальні для замовників у сфері середнього бізнесу, що робить ринок HSI-рішень одним з тих, що найбільш розвиваються в IT-індустрії на сучасний момент.

Недовга історія гіперконвергенції, що почалася із середини нульових років XXI століття, цікава своєю еволюцією. Початок був покладений утворенням альянсів декількома компаніями, що досить нетипово для ринку. Спільно вони запропонували так звані інтегровані стеки. Раніше інших – група VCE (VMware, Cisco й EMC) зі своїм Vblocks, потім група в складі VMware, Cisco і NetApp з мережею зберігання Fco і стеком FlexPod. Слідом був секстет у складі Dell, Fujitsu, HP, Microsoft, IBM і NEC з рішенням навколо гіпервізора Microsoft Hyper-V, а також дві самостійні компанії – Oracle з рішенням Exalogic і HP з Matrix.

Консолідовано виниклий рух в одному напрямку найбільших виробників змусило задуматися про фундаментальність передбачуваного зрушення.

І насправді, поява інтегрованих стеков змінило правила гри.[1] Раніше підприємству не залишалося нічого іншого, як збирати системи власними силами або прибігати до послуг компаній-інтеграторів, а інтегрований стек можна було купити готовим, майже як домашній кінотеатр. Зрозуміло, тонкі цінителі й критики, яких у комп'ютерингу не мало, завжди знайдуть у будь-якому інтегрованому рішенні масу недоліків. Так було, наприклад, з інтегрованими пакетами ПЗ для ПК. Об'єднання редакторів, СУБД і електронних таблиць в одному продукті приймалося ними в багнети доти, поки не з'явився один загальний Microsoft Office, на цьому всі дискусії закінчилися.

Суперечки ні, за окремими показниками готовий комплекс може уступати спеціалізованому рішенню, але в нього є головне достоїнство – можливість зсуву витрат з експлуатаційних (OpEx) у бік інвестиції в нові рішення (CapEx), тобто на підтримку виконання нового функціонала. Продовживши паралель із аудіо, можна сказати, що готові інтегровані стеки дозволяють витратити більше грошей на музику, а не на техніку для її відтворення.

Потім виникло нове узагальнене поняття «конвергентні інфраструктури» (Converged Infrastructure, CI).[2] Звичайно під CI розуміють цілісне закінчене рішення, зібране із взаємодоповнюючих готових компонентів: серверів, систем зберігання, комунікаційного встаткування й ПЗ для керування інфраструктурою, що включає засобу для автоматизації й оркестровки. У деяких випадках до складу CI можуть входити ще й спеціалізовані апаратні модулі керування. Керуюче ПЗ й спеціалізовані модулі забезпечують централізоване керування звичайно віртуалізованими й об'єднаними в загальні пули ресурсами, що розподіляються між різними додатками. Це підвищує економічну ефективність і знижує вартість експлуатації. Поява CI стало закономірним результатом еволюції корпоративних ЦОД у напрямку до приватних хмар.

За ступенем консолідованості CI можна розділити на три групи:

- шаблон, або референсна архітектура (Reference Architecture, RA);
- інфраструктура єдиного стека (Single Stack Infrastructure, SSI);
- істинно конвергентна інфраструктура (True Converged Infrastructure, TCI).

У першому випадку консолідація зводиться до окремих конфігурацій, які рекомендувалися, що складається з компонентів від різних виробників. У другому – весь стек устаткування виробляється й збирається в єдине ціле, а в третьому – у єдине ціле збираються компоненти від різних виробників, тобто в TCI об'єднані переваги RA і SSI.[3]

І, нарешті, ще один логічний крок. Його зробила компанія-стартап Nutanix, запропонувавши Complete Cluster – масштабовану інфраструктуру, що поєднує в собі складові частини корпоративної системи: комп'ютерні ресурси й ресурси систем зберігання у

формі однакових базових модулів. Надалі саме такі інфраструктури стали називати гіперконвергентними (Hyperconverged Infrastructure, HCI).[4]

Відмінна риса Complete Cluster і всіх його послідовників складається в можливості збирати з модулів приватна корпоративна хмара без додаткових вкладень у мережні СЗД SAN або NAS. Ідея Complete Cluster, здавалося б, лежала на поверхні. Відомо, що успіх таких гігантів, як Google, Yahoo, Amazon і Facebook, значною мірою базується на власних блокових пропріетарних технологіях, використовуваних для створення ЦОД. Чому б не застосувати аналогічні підходи до істотно меншим корпоративних ЦОД із класичними серверами й системами зберігання, адаптованими до традиційних навантажень? Такого роду запозичення досвіду має сенс, оскільки в сучасних корпоративних ЦОД, незалежно від їхнього масштабу, домінують близькі віртуалізовані навантаження.

Засновники Nutanix раніше інших звернули увагу на дві проблеми класичних ЦОДів, що складаються із серверів, SAN і NAS. Перша пов'язана зі спадщиною старих традицій – ЦОД створювалися розраховуючи на статичне навантаження, а нове подання про динамічне навантаження виникло у зв'язку з віртуалізацією серверів і переходом до хмар. Динаміка полягає в необхідності на лету створювати віртуальні машини, переміщати їх між серверами, однак у цих умовах керування існуючими мережними системами зберігання стає складн і незручним і відмахнутися від цієї проблеми вже не можна.

Росте кількість віртуальних машин, обсяг даних, якими вони оперують, збільшується, причому в чималому ступені кількісним змінам сприяють нові технології віртуалізації, зокрема, віртуалізація настільних систем.

Ще одна проблема сучасних ЦОДов виникає через те, що вони проектувалися з урахуванням невідповідності між усе більше зростаючою продуктивністю процесорів і повільністю, у силу їхньої механічної природи, жорстких дисків. Цей розрив приймався як даність, і його доводилося компенсувати за допомогою тих або інших методів розподілу даних по дисках. Однак з'явилися твердотільні накопичувачі (SSD) зі швидкістю обміну на два-три порядки вище, ніж у традиційних жорстких дисків (HDD), що могло б нівелювати розрив, але інфраструктура виявилася не підготовлена до них, і проста заміна HDD на SSD створює нову проблему – існуючі мережі не в змозі впоратися зі зростаючою потребою у швидкості передачі даних, що утрудняє використання переваг SSD.

В Nutanix відверто визнавали, що вони запозичили підхід до горизонтального масштабування, а їхній власний внесок складається в поширенні методики Google на корпоративні системи й пропозиції створення «готових до вживання» блоків для будівництва корпоративних систем. Для того щоб застосувати Complete Cluster до умов окремо взятого підприємства, загальну ідею довелося серйозно переробити. Якщо Google File System являє собою власне замовлене рішення, адаптоване для специфічних внутрішніх застосунків (пошук і електронна пошта), то Nutanix пропонує більше загальне рішення, адаптоване до умов корпоративної віртуалізованого середовища з упором на її особливі вимоги: ефективне керування даними, високу готовність, резервування, відновлення після збоїв.

Архітектура Nutanix Complete Cluster являла собою кластер з горизонтальним масштабуванням, зібраний з високопродуктивних вузлів. Окремий вузол має у своєму складі процесори, пам'ять і локальну систему зберігання, що складає з дисків HDD і SSD. На кожному вузлі працює власний екземпляр гіпервізора. Вузол служить хостом для працюючих на ньому віртуальних машин. Для об'єднання ресурсів окремих систем зберігання в єдиний віртуалізований пул служить SOCS (Scale-out Converged Storage) – аналог Google File System. Віртуальні машини за допомогою SOCS оперують даними точно так само, як якби вони працювали з SAN, інакше кажучи, SOCS служить у якості гіпервізора систем зберігання, переміщаючи дані якнайближче до тої віртуальної машини, на якій вони використовуються, що підвищує продуктивність і знижує вартість. Крім того, Complete Cluster служить інструментом для горизонтального масштабування аж до декількох сотень вузлів.

Порівнюючи CI і HCI, можна використовувати будівельну аналогію. У першому випадку конструкцію збирають із визначеного набору великих блоків від зв'язаних між собою виробників, а в другому використовують підходящі з наявних на ринку цегл. Звичайно в створенні CI провідна роль належить тому зі членів альянсу, хто поставляє керування, але про інших, хто поставляє сервери, СЗД, мережі й віртуалізацію, теж не забувають. А системи класу HCI поставляються одним вендором, він збирає все необхідне в корпус (box) такими необхідними речами як засобу для резервного копіювання, створення снп-шотів, дедуплікації, компресії в режимі in-lint і т.буд. Конкретний состав набору в різних виробників може варіюватися, деякі, наприклад, SimpliVity, для прискорення використовують власні спеціалізовані інтегральні мікросхеми ASIC.

Ким би не була зроблена HCI, створюється віртуалізована інфраструктура, точніше кажучи, інфраструктура, віртуалізована по визначенню. Вона має наступні достоїнства:

- Гнучкість – реалізуються можливі типи масштабування.
- Економічна ефективність – знижуються як CAPEX, так і OPEX.
- Висока готовність – природне резервування блоків і швидка реконфігурація.
- Захищеність даних – дані не прив'язані до єдиного з погляду уразливості місцю.
- Ефективність роботи з даними – скорочуються витрати на СЗД і мережі.

В HCI реалізуються три типи масштабування: добре відоме по кластерах горизонтальне (scale out), по мейнфреймам і Unix-серверах вертикальне (scale up) і нове scale through.

Якщо порівнювати два підходи – гіпервіртуалізацію з дезагрегацією, то можна виразити обережне припущення про те, що в цих двох підходів можуть бути різні споживачі. У програм-гіпервізорів і в технології віртуалізації в цілому є межі, тому HCI, швидше за все, не вийде за межі приватних хмар. У дезагрегації меж немає, тому її сфера застосування – ЦОДи компаній-гіперскейлерів, постачальників послуг глобальних хмар.

Програмні й мережні рішення для гіперконвергентних інфраструктур

Гіперконвергентні інфраструктури (HCI) стають однією з найбільш перспективних технологій для створення приватних і гібридних хмар. Ідею HCI запропонували стартапи, які раніше інших осознали можливість радикальних змін і що встигли зайняти лідируючі позиції в цьому сегменті ринку. Однак останнім часом і галузеві великовагові поїзди, що як звичайно затрималися на старті, але які володіють достатнім науковим і технічним потенціалом, роблять все можливе, щоб зайняти належне їм положення.

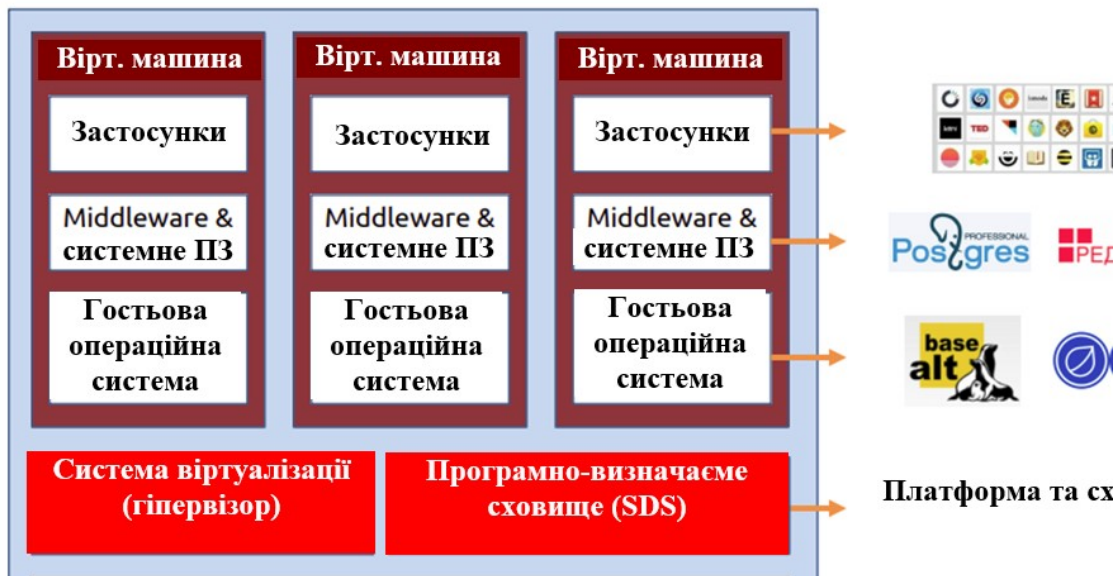


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Загальна ситуація така: незалежно від того, під яким брендом виробляється та або інша конкурентна НСІ, вона складається із чотирьох взаємозалежних компонентів – сервери, СЗД, мережа й віртуалізація СЗД із метою створення загальних пулів (Storage Pool). Щодо цього, мабуть, єдине виключення являє собою зовсім що недавно з'явився трикомпонентний підхід до утворення НСІ на базі Intel Xeon Scalable із чип-сетом Intel C620 і СЗД Optane SSD.

Як постачальник НСІ, за рідкісним винятком, виступають компанії, що забезпечують функціонала, а саме два перших з перерахованих вище чотирьох компонентів. Вони можуть самі робити сервери й/або СЗД, або ж можуть здобувати їх, практично не маючи власного виробництва, тобто бути, як зараз говорять, фаблес.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів гіперконвергентної інфраструктурної платформи. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем гіперконвергентної інфраструктурної платформи.
- Досліджена система гіперконвергентної інфраструктурної платформи.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи гіперконвергентної інфраструктурної платформи.

Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання гіперконвергентної інфраструктурної платформи. 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. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.). Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.
2. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.
3. Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №4(24), С. 6-27.
4. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». *Підводні технології*, 2024, № 13, с. 28-35.
5. 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.
6. 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.
7. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchев, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
8. 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.
9. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
10. 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.
11. 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.
12. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до

- диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Системи управління, навігації та зв'язку, 2022, № 3(69). С. 93-98.
13. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки», № 2 (307). С. 46-52. 2022.
 14. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Системи управління, навігації та зв'язку, 2022, № 1(67). С. 84-89.
 15. 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.
 16. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. 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.
 26. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyzy, 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.
 27. 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.
 28. 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.
 29. 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.
 30. 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.