

УДК 004

А.Шарова, магістр гр. КН-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КЕШУВАННЯ, ФЛЕШ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕПЛІКАЦІЇ ЦОД

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. Метою розробки є дослідження та принципи побудови системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. Об'єктом дослідження є процес кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. Предметом дослідження є методи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. Методи дослідження базуються на методах теорії кодування, теорії великих даних, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

**кешування, флеш-технологія, реплікація, ЦОД**

**Постановка проблеми.** Надійне зберігання даних – завдання, що доводиться вирішувати кожній організації. Що саме потрібно компаніям, щоб організувати роботу з інформацією щонайкраще? Зорієнтуватися на високотехнологічному ринку – не проста, але розв'язне завдання. Для зберігання даних використовують центри обробки даних.

Необхідність у центрах обробки даних (ЦОД) виникла, коли масиви збереженої й переданої інформації перевищили всі мислимі на той момент межі.

Згідно даним TAdviser, з 2010 р. обсяг збереженої інформації щороку зростає приблизно на 50% від її первісного обсягу. Росте й вартість інформації, оскільки від її прямо залежать всі бізнес-процеси.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи кешування, флеш-технології та реплікації цод.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.

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

- Огляд існуючих систем кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.
- Дослідження системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.
- Програмна реалізація системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.

*Об'єктом дослідження* є процес кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.

*Предметом дослідження* є методи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.

*Методи дослідження* базуються на методах теорії кодування, теорії великих даних, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу.** Цілком розумно очікувати, що повністю флеш-центри обробки даних стануть більш поширеними в майбутньому. Однак перехід до повністю флеш-центрів обробки даних може зайняти деякий час через такі фактори, як вартість, сумісність та вимоги до продуктивності.

Існують дві причини невизначено тривалого майбутнього дискових накопичувачів. Першою є різниця в ціні за терабайт ємності між флеш-накопичувачами та дисковими накопичувачами у п'ять-сім разів. Другою є потреба підприємств зберігати великі та

постійно зростаючі обсяги даних, які активно не використовуються, для таких цілей, як навчання зі штучного інтелекту/машинного навчання та аналітики, архівування та дотримання вимог, а також резервне копіювання.

Потреба в дешевшому архівному сховищі, яке в багатьох місцях все ще включає стрічку, залишиться. Обсяг диска, який купують гіперскейлери, перевищує кількість флеш-накопичувачів сьогодні. Вам потрібне швидке сховище лише для того, над чим ви активно працюєте, а не для того, що ви просто зберігаєте для подальшого використання.

Незважаючи на прогнози щодо смерті стрічок протягом останніх двох десятиліть, використання стрічок – принаймні з точки зору обсягу даних, що зберігаються на них – збільшилося, а не скоротилося, через необхідність зберігати постійно зростаючі обсяги холодних або рідко використовуваних даних.

Як не парадоксально, нові технології, такі як штучний інтелект/модельне навчання, підсилюють цей аргумент. Компаніям потрібен доступ до величезних пулів сховищ для навчання машинному навчанню, але як тільки це буде завершено, дані потрібно буде перенести на більш економічно ефективні технології зберігання. Тож, хоча це може здатися парадоксальною, можна навести вагомий аргумент, що нові програми штучного інтелекту фактично збільшують потребу в системах зберігання другого та третього рівнів, таких як диски та навіть стрічки.

Я сумніваюся, що коли-небудь з'являться повністю флеш-центри обробки даних з кількох причин. Завжди буде потреба в стрічках або дисках просто тому, що вони можуть зберігати величезні обсяги даних дешевим способом офлайн, і буде зростати обсяг даних, до яких рідко звертаються, але які все одно потрібно зберігати. І до того часу, як флеш-пам'ять захопить центри обробки даних, новіші NVM [незалежні пам'яті], такі як ReRAM та MRAM, почнуть займати частину центрів обробки даних.

Сьогодні економія коштів у 5 разів на флеш-пам'ять порівняно з диском робить більший простір для зберігання дисків, що використовуються в об'єктному сховищі, сильнішою альтернативою стрічці, а Seagate протягом наступних кількох років представить довгоочікувані дискові накопичувачі ємністю 30, 40 і 50 ТБ, що розширить можливості для дисків.

Однак, обираючи між дисковою та флеш-пам'яттю, ІТ-команди враховують не лише початкові витрати на придбання. Є один аспект переходу на флеш-технологію, який часто недооцінюється щодо її цінності для клієнтів: зі збільшенням продуктивності завдяки флеш-пам'яті з'являється цінність простоти. Під простотою я маю на увазі необхідність керування характеристиками пристрою для розміщення/розподілу даних з точки зору продуктивності. Це просто простіше, коли є вища продуктивність сховища. Це фактор, який спонукатиме організації до використання високопродуктивних технологій.

Однак деякі центри обробки даних вже повністю використовують флеш-пам'ять.

Відповідь на це питання про повністю флеш-центри обробки даних буде залежати від розміру, масштабу та обсягу роботи центру обробки даних. Існує багато менших та середніх центрів обробки даних, які вже повністю використовують флеш-пам'ять. Але це, як правило, центри обробки даних для одного клієнта. Великі підприємства, регіональні хостинг-постачальники послуг та масивні гіперскейлери матимуть «живу іржавію» протягом будь-якого прогнозованого періоду часу».

До 2028 року існує клас корпоративних центрів обробки даних, які будуть повністю флеш-сховищами. Це центри обробки даних, що експлуатуються підприємствами, які все частіше використовують хмарні інфраструктури публічної інфраструктури для розміщення своїх менш чутливих до продуктивності або критично важливих програм, що не потребують флеш-сховища та використовують ті ж хмари для зберігання своїх холодних або рідко використовуваних даних.

Локальні центри обробки даних, які здебільшого зосереджені на запуску критично важливих програм, швидко переходять на повністю флеш-сховище. Omdia прогнозує, що

протягом наступних трьох-п'яти років більшість цих локальних центрів обробки даних повністю перейдуть на флеш-технологію.

Іншими словами, дискові накопичувачі переходять з корпоративних центрів обробки даних у гіперхмарні, де вони існуватимуть ще багато років через низьку вартість та відсутність потреби в продуктивності під час зберігання холодних даних. Хан навів ще одну причину, чому не варто використовувати флеш-пам'ять для зберігання цього типу даних: «Оскільки ці [сховища масового зберігання, архівування та резервного копіювання] часто взаємодіють з відносно повільним Інтернетом, пропускна здатність, а не низька затримка пошуку, є більш важливою». З тієї ж причини, чому пропускна здатність важливіша за випадковий доступ, він додає: «Основні випадки використання, такі як відео та мультимедіа, зможуть ефективно використовувати жорсткі диски протягом тривалого часу, а також інші технології, такі як IoT та ELT [Вилучення, завантаження, перетворення] конвеєрів збору даних.

Ще одним міркуванням є тенденція до продовження терміну служби ІТ-обладнання як частини стратегії екологічної стійкості та економії коштів. Тому клієнти зараз менш охоче позбавляються від технології, яка здається старою, та замінюють її блискучою новою. Вплив на центри обробки даних полягатиме в використанні низки технологій, яким у деяких випадках може бути до семи років, а це означає, що поява повністю флеш-центрів обробки даних не є найближчою перспективою.

Вважаємо, що існує межа, де розгортання з ємністю менше заданої мають сенс як повністю флеш-пам'яті, а розгортання вище цієї межі можуть бути недоцільними. Ця межа повільно рухатиметься вгору, але, на нашу думку, здебільшого йтиме в ногу зі зростанням потреб у ємності, тому центри обробки даних, що використовують лише флеш-пам'ять, залишаться назавжди «через два роки».

Компанія може бути рада зберігати відносно невеликі файлові системи обсягом 200 ТБ у флеш-пам'яті, оскільки це коштуватиме лише приблизно на 150 000 доларів більше, ніж зберігання на диску, і працюватиме набагато краще. Але для зберігання в 100 разів більшої ємності, 20 ПБ, додаткові витрати становитимуть 12 мільйонів доларів, що важко виправдати. Якщо у вас немає якихось особливих вимог, ці гроші краще було б використати для придбання процесорів та графічних процесорів.

Розвиток технологій часто слідує кривій, за якою темпи покращення вартості або продуктивності повільно зменшуються з часом, слідуючи кривій, яка поступово стає більш пологою, оскільки технічний прогрес стає дедалі складнішим для досягнення. Дійсно, приблизно до 2010 року багато спостерігачів передбачали, що технічний розвиток NAND-флеш-пам'яті ось-ось зіткнеться з проблемою кількості комірок пам'яті, які можна упакувати в один флеш-чіп. На той час флеш-пам'ять була добре утвердженою та зростаючою рисою корпоративного ІТ-ландшафту не лише завдяки своїй продуктивності та іншим перевагам порівняно з диском, але й тому, що її ціна падала протягом попереднього десятиліття. Якби виробники флеш-чіпів зіткнулися з цією прогнозованою технологічною проблемою, ціни почали б падати набагато повільніше в перерахунку на одиницю ємності пам'яті.

Однак у 2013 році Samsung обійшла передбачуване обмеження, випустивши перші так звані 3D-флеш-чіпи, які склалися з кількох шарів комірок пам'яті, а не з одного шару комірок, що використовувався раніше. Це означало більше комірок пам'яті на чіп, і як надзвичайно цінний побічний ефект, можливість зберігати більше бітів даних у кожній комірці пам'яті, що знову ж таки знизило ціни за терабайт. Усі основні виробники флеш-пам'яті невдовзі наслідували приклад Samsung, і з того часу кількість шарів на чіп швидко зростала. Але це було десять років тому. Чи наближається флеш-пам'ять зараз до кінця чи до більш пологої частини своєї технологічної кривої?

Люди, які кажуть: «Закон Мура мертвий», ігнорують 3D NAND. Ця технологія дала флеш-пам'яті NAND новий механізм для подальшого додавання бітів до чіпа, і щороку інженери-технологи знаходять геніальні способи просунути його далі, ніж хтось міг би вважати можливим. Це далеко не те, щоб сказати «ні» на це питання. Очікуйте побачити

щонайменше ще кілька порядків зниження вартості протягом наступних кількох років, оскільки щільність чіпів продовжуватиме зростати.

Виробники флеш-пам'яті, такі як Samsung, SK Hynix, Kioxia, Western Digital та Micron, продовжуватимуть впроваджувати інновації з дорожніми картами для більшої щільності з більшою кількістю шарів, використовуючи методи стекування, інновації в архітектурі та дизайні, а також більше бітів на комірку (наприклад, п'ятирівнева комірка або ПЛК). Перші багатошарові флеш-чіпи, що вийшли на ринок у 2013 році, склалися з 24 шарів комірок пам'яті та зберігали 128 Гбіт/с. Ю згадав про демонстрацію SK Hynix цього року 321-шарового чіпа, що зберігає 1 Тбіт/с, а також прогноз Samsung, зроблений минулого року, що до 2030 року вона поставить 1000-шарові чіпи.

Дискова технологія також все ще розвивається, і тому ціни на диски також продовжуватимуть падати приблизно з тією ж швидкістю, що й на флеш-пам'ять. «Флеш-технологія продовжить свою неблаганну криву вдосконалення, але ми не бачимо, щоб ця крива прискорювалася, щоб набирати обертів на дисках, тобто знижувала множник 5х-7х (\$/ТБ) або уповільнювала його порівняно з дисками.

Є кілька факторів, деякі з яких були окреслені в попередніх відповідях, які свідчать про те, що флеш-пам'ять все ще перебуває на підйомі з точки зору технологічної кривої. Існує аргумент, який слід враховувати, де поточна технологія флеш-пам'яті переходить у нові технології, проте, враховуючи рівні розвитку, які все ще досягають компанії, що розробляють флеш-сховища, це, здається, свідчить про те, що ще є багато можливостей для просування вгору, перш ніж буде досягнуто плато.

#### **Флеш-пам'ять має багато технологічних переваг не лише всередині чіпів**

Ми тільки починаємо бачити, як флеш-пам'ять можна використовувати в центрах обробки даних. Цінність комунікаційних протоколів NVMe тільки починає визнаватися в центрах обробки даних, і знадобиться щонайменше десятиліття, щоб вони замінили масивну інфраструктуру на основі SCSI. Крім того, еволюція інтерфейсу PCIe та нові технології, такі як CXL, відкриють нові можливості для реалізації флеш-сховищ. Крім того, транспортні протоколи, такі як NVMe-oF, зазвичай через RDMA Ethernet, тільки починають об'єднуватися як життєздатна альтернатива. Тож, замість того, щоб досягти піку, я вважаю, що ми тільки починаємо бачити перші кроки революції флеш-технологій.

Флеш-пам'ять трансформувала корпоративне сховище даних і була головною рушійною силою, яка рушійною силою революції мобільних обчислень. Зараз це основна технологія. Окремо від виробництва продуктів на базі флеш-пам'яті, таких як накопичувачі або повноцінні системи зберігання даних, виробництво лише NAND-флеш-чіпів зараз генерує близько 80 мільярдів доларів річного доходу, і ця цифра продовжує зростати.

Це викликає очевидне питання: коли з'явиться наступна нова технологія твердотілого зберігання даних з таким самим впливом на масовий ринок? Протягом останніх кількох десятиліть у дослідницьких лабораторіях було витрачено мільярди доларів на спроби знайти іншу таку технологію. Спільно розроблена Intel та Micron пам'ять Optane стала результатом таких досліджень і вперше була поставлена у твердотілих накопичувачах у 2017 році. Швидша, але дорожча за флеш-пам'ять, Optane була проголошена першою з майбутнього класу так званих пам'ятей класу сховищ (SCM), які мали доповнити або замінити флеш-пам'ять і мати так само великий загальний вплив на ІТ. Однак Optane продавалася погано, і у 2021 році Intel оголосила про свій план припинити виробництво цієї пам'яті, лише через чотири роки після її перших поставок.

Тим часом дослідження інших потенційних SCM тривають. Для Objective Analysis, яка зосереджена на нових моделях пам'яті, Генді сказав, що протягом цього та наступного десятиліття, ймовірно, не з'явиться нових технологій пам'яті з потенціалом такого ж впливу, як флеш-пам'ять. Він розрізняв два типи пам'яті: ті, що вбудовані в процесори або інші чіпи, та ті, що, як NAND-флеш та Optane, продаються або продавалися як чіпи лише для дискретної пам'яті у набагато більших кількостях і тому мають набагато більший ринковий потенціал.

Optane зазнав невдачі через свою вартість. Ми попереджали про це, щойно його оголосили. Але інші технології, ймовірно, процвітатимуть на певних ринках, особливо як вбудована пам'ять у мікроконтролерах, ASIC та інших SoC [процесорах Systems-on-a-Chip]. Однак дискретні мікросхеми пам'яті навряд чи масово перетворяться на нові SCM у 2020-х роках, і, ймовірно, не у 2030-х роках.

Optane, також відомий як 3D XPoint, зазнав невдачі з економічних причин, але створення альтернативи флеш-пам'яті неминуче:

Кілька технологій NVM, включаючи ReRAM, MRAM, PCM та FRAM, стають потенційними альтернативами флеш-пам'яті. 3D XPoint від Intel була першою спробою вирішити цю проблему, але не увінчалася успіхом значною мірою з економічних причин. Ключем до успішної альтернативи флеш-пам'яті є розробка пам'яті, яка може масштабуватися до достатньо великої щільності, але за достатньо низькою ціною. Intel змогла впоратися лише з частиною цієї проблеми, пов'язаною з щільністю. Це лише питання часу, коли ми побачимо технологію, яка зможе відповідати обом критеріям, і ми вважаємо, що ReRAM буде відповіддю, оскільки вона має фундаментальні технічні переваги, включаючи швидкість, енергоефективність та вартість. Триває розробка, щоб довести технологію до ще більшої щільності.

За 10 років може статися багато чого – сказати, що станеться, легко (наприклад, атомну пам'ять, яку досліджує IBM); сказати коли – набагато важче.

Технологічний імпульс та варіант флеш-пам'яті SLC стануть перешкодою для будь-якої нової пам'яті.

Нездатність досягти достатніх продажів, щоб виправдати обсяги виробництва, необхідні для забезпечення життєздатно низьких цін, призвела до скасування Optane. Відносно нові високошвидкісні варіанти флеш-пам'яті SLC [single-level cell] виконують завдання, для яких була призначена Optane. Легко уявити, де пам'ять класу сховища може вписатися в піраміду пам'яті сховища, але було важко забезпечити правильне поєднання характеристик продуктивності, затримки та вартості, забезпечуючи при цьому збереження даних у реальному світі. Optane SCM здавався гарним проектом, але його виробництво згортається через відсутність належної економіки обсягу. Очевидно, що є кілька хороших варіантів використання для Optane SCM, але, чесно кажучи, вони вирішуються за допомогою нещодавно випущеної технології NAND-флеш SLC. Пропозиції SLC NAND SSD набирають популярності завдяки своїй фантастичній довговічності та хорошій продуктивності запису, особливо для багаторівневого створення масивів даних та кешування даних.

«Будь-яка нова технологія має перевершити існуючу технологію, яка виграє від десятиліть оптимізації та великомасштабного виробництва. Отже, нова технологія буде у значно не вигідному становищі.

SCM мали/мають величезний потенціал, але зміна архітектури програмного забезпечення, необхідна для того, щоб програми отримали всі переваги, які може запропонувати SCM, була занадто високою, тому програми так і не прийняли їх. Флеш-пам'ять не зіткнулася з цією перешкодою, оскільки її специфічне поєднання вартості та продуктивності ніколи не вимагало та не виправдовувало її використання як доповнення до пам'яті DRAM.

Крім планування оптимального використання дискової підсистеми, деякі ЦОД дозволяють вибрати й розмір кешу. Про те, як використовується кеш у системі зберігання даних і скільки його мабуть, існує багато думок. Одне з найважливіших призначень кешу – зберігання метаданих ЦОД. Для реалізації будь-якої функціональності ЦОД, будь те дискові групи, логічні томи, багаторівневе зберігання або реплікація, необхідні службові дані – це і є метадані. Вони постійно використовуються мікрокодом ЦОД, і для їхнього зберігання потрібний самий швидкодіючий носій інформації в системі. Їм і є кеш, для реалізації якого використовується оперативна пам'ять рівня DDR3 або DDR4, чия продуктивність на порядок вище, ніж у самого швидкісного флеш-диска.

Друга важлива функція кешу – безпосереднє кешовані даних. Оброблювані хостами дані розміщуються в кеші й можуть використовуватися повторно без звертання до більше повільних дисків. Крім того, кешовані дозволяє оптимізувати запис даних на диски.

Однак використання кешу ефективно не для всіх профілів навантаження. Дані, які послідовно зчитуються із системи зберігання, кешуються добре – це так зване лінійне читання. Навіть якщо додаток зчитує дані, наприклад, дрібними блоками по 8 Кбайт замість що рекомендуються 256 Кбайт і більше, система зберігання розпізнає лінійне читання й, знаючи, які дані будуть запитані наступними операціями вводу-виводу, зчитує їх заздалегідь. Таким чином, що впливає операція вводу-виводу не викликає звертання до більше повільної дискової підсистеми – дані надходять із кешу, що істотно прискорює вводу-вивід.

У той же час кеш майже марний, коли мова йде про випадкове читання (random read) даних зі ЦОД. У цьому випадку ймовірність знаходження потрібних даних у кеші прагне до нуля, оскільки обсяг кешу в системі зберігання на порядок менше, ніж максимальний корисний обсяг даних сучасних ЦОД. Саме тому кілька років назад з'явилася ідея використовувати флеш-диски для прискорення випадкового читання.

Флеш-технології дозволяють оптимізувати й інші типи навантажень. Однак приріст продуктивності, у порівнянні з використанням механічних дисків, виходить не настільки значним, тоді як різниця у вартості зберігання 1 Тбайт даних на флеш-диску й механічному диску поки залишається досить відчутної.

При будь-яких операціях запису дані спочатку містяться в кеш і лише після цього записуються на диски. Крім повторного використання для наступних операцій вводу-виводу, нові дані можуть групуватися спеціальним образом, але тільки в тому випадку, якщо надалі вони будуть записані на групи RAID з парністю (RAID5 і RAID6).

Чому важлива оптимізація запису при використанні RAID-груп з парністю? Вся справа в тому, що в них застосовується особливий захист даних від збою диска в групі. Якщо, допустимо, робити запис на масив RAID5 випадковим образом, без оптимізації, то одна операція запису, зроблена хостом, буде генерувати чотири операції вводу-виводу на системі зберігання (два читання й два записи). Для RAID6 цей показник дорівнює вже шести. У результаті продуктивність ЦОД серйозно знизиться.

Що в цьому випадку може почати система зберігання даних? У першу чергу вона спробує сформувати в кеш-пам'яті набір даних (full stripe), щоб зробити розрахунок парності без додаткового звертання до дисків і записати відразу всі дані на диски. При послідовному записі зібрати full stripe у кеш-пам'яті досить легко, але при випадковій – система або буде чекати, поки в кеші не збереться необхідний набір даних, або почне зчитувати відсутні блоки даних з дисків. Тому кешовані запису даних практично у всіх випадках прискорює вводу-вивід.

Існує думка, що, якщо збільшити обсяг кешу, ЦОД стане працювати швидше. Як правило, між корисним обсягом збережених даних і ємністю кешу є деяке визначене співвідношення, що бажано витримувати. Однак це повністю здійснено тільки в системах зберігання старшого класу, де можливий більше гнучкий вибір обсягу кешу. У системах зберігання середнього класу не завжди вдається розширити кеш до бажаних величин.

Якщо ЦОД не справляється із читанням або записом даних, справа аж ніяк не в кеші. Швидше за все, обрана невідповідна модель ЦОД або неправильно зроблена конфігурування дискової підсистеми, який просто не вистачає ресурсів для читання й запису всіх даних, що надходять. Точна оцінка планованого навантаження й вибір потрібної конфігурації ЦОД є ключовими критеріями для одержання бажаної продуктивності ІТ-системи. Тому збільшення обсягу кешу не панацея для підвищення продуктивності.

### **Особливості флеш-накопичувачів**

Говорячи про продуктивність, неможливо не торкнутися докладніше теми флеш-технологій. Якщо обчислювальна потужність контролерів ЦОД не є вузьким місцем, то використання флеш-дисків завжди дозволяє збільшити продуктивність доступу до даних при будь-якому профілі навантаження – лінійному й випадковому, при читанні й при записі.

Однак треба брати до уваги й фінансову складову: при послідовному читанні й записі флеш-диски можуть працювати в кілька разів швидше механічних, але вартість зберігання 1 Тбайт даних буде в десятки разів вище. Тому для лінійних навантажень звичайно використовуються самі повільні механічні диски NL-SAS, оскільки навіть вони прекрасно справляються з поставленим завданням.

Флеш-технології дуже ефективні при випадковому профілі вводу-виводу – особливо при випадковому читанні, коли кеш нічим допомогти не може. Вони відрізняються не тільки можливістю здійснювати більше операцій вводу-виводу (IOPS), але й низьким часом відгуку таких операцій: дві мілісекунди й менше. Саме тому при високих вимогах до продуктивності постачальники рішень пропонують флеш-диски в складі ЦОД або систему, повністю оснащену флеш-дисками (All Flash Array, AFA).

У той же час флеш-диски «не люблять» операції запису – дані на них записуються повільніше, ніж зчитуються. Це пов'язане з використанням пам'яті NAND. На відміну від механічних дисків, на які можна довільно записувати й перезаписувати будь-які дані, флеш-диск потрібно спочатку очистити. Причому не можна стерти один біт або байт – дані стираються блоками по 1-2 Мбайт залежно від типу диска, виробника й інших параметрів. Попередньо необхідно перенести всі актуальні дані у вже чисті (стерті) блоки. Таким чином, якщо при занадто інтенсивному записі місце в блоках звільняється недостатньо швидко, флеш-диск починає «гальмувати».

### **Флеш і синхронна реплікація**

Чи ефективні флеш-диски при віддаленій синхронній реплікації? Дані реплікуються на віддалену площадку для забезпечення їхньої схоронності й доступності на той випадок, якщо основна ЦОД повністю вийде з ладу. Як правило, площадка розташовується досить далеко, і тому до звичайних затримок вводу-виводу додається ще й затримка від реплікації.

Існує думка, що флеш-диски неефективні при такому виді реплікації. Це пов'язане з тим, що синхронна реплікація може звести нанівець одну з основних особливостей флеш-дисків – дуже невелику затримку вводу-виводу. Насправді додаткові затримки в основному стосуються тільки операцій запису, а їхня частка в профілі навантаження застосунку, як правило, не перевищує 20-30%. Таким чином, навіть при синхронній реплікації флеш-диски будуть досить ефективні і їхнє використання в подібних конфігураціях цілком виправдано.

### **Необхідна конфігурація для синхронної реплікації**

Чи потрібні при віддаленій синхронній реплікації дві однаково зконфігуровані ЦОД? Це залежить від виду синхронної реплікації (Active/Active або Active/Passive), розподілу навантаження вводу-виводу між двома центрами обробки даних, вимог SLA і інших параметрів. Інтенсивність навантаження на ідентичні набори даних, що зберігаються на віддалених площадках, завжди буде різною. У випадку синхронної реплікації Active/Active (див. рисунок 1) навантаження буде залежати від балансування вводу-виводу застосунку між двома ЦОДами. Якщо використовується Active/Passive, копія основних даних перебуває чекаючи «години ікс», коли основний набір стане недоступний і їй буде потрібно відповідати за все вводу-вивід. І в тому і в іншому випадку для зберігання додаткового набору даних потрібні ресурси: дискові, обчислювальні й т.д.

Необхідність використання флеш-дисків і однакових обчислювальних контролерів ЦОД для обох наборів даних залежить від того, яку продуктивність вводу-виводу повинна забезпечити що залишилася ЦОД після виходу з ладу основної системи. Якщо до усунення аварії допускаються зниження продуктивності ЦОД і погіршення роботи ІТ-системи, то для зберігання другого набору даних досить ресурсів з меншою продуктивністю.

Як правило, такі схеми застосовуються в тих випадках, коли фінансові втрати від погіршення роботи ІТ-системи менше вартості зберігання другого набору даних на високопродуктивних ЦОД. Якщо ж відмова одного із ЦОДів приведе до фінансових втрат, що перевищують вартість зберігання копії даних на високопродуктивній ЦОД, то використання тих же самих ресурсів для зберігання нехай навіть неактивної копії даних обов'язково.

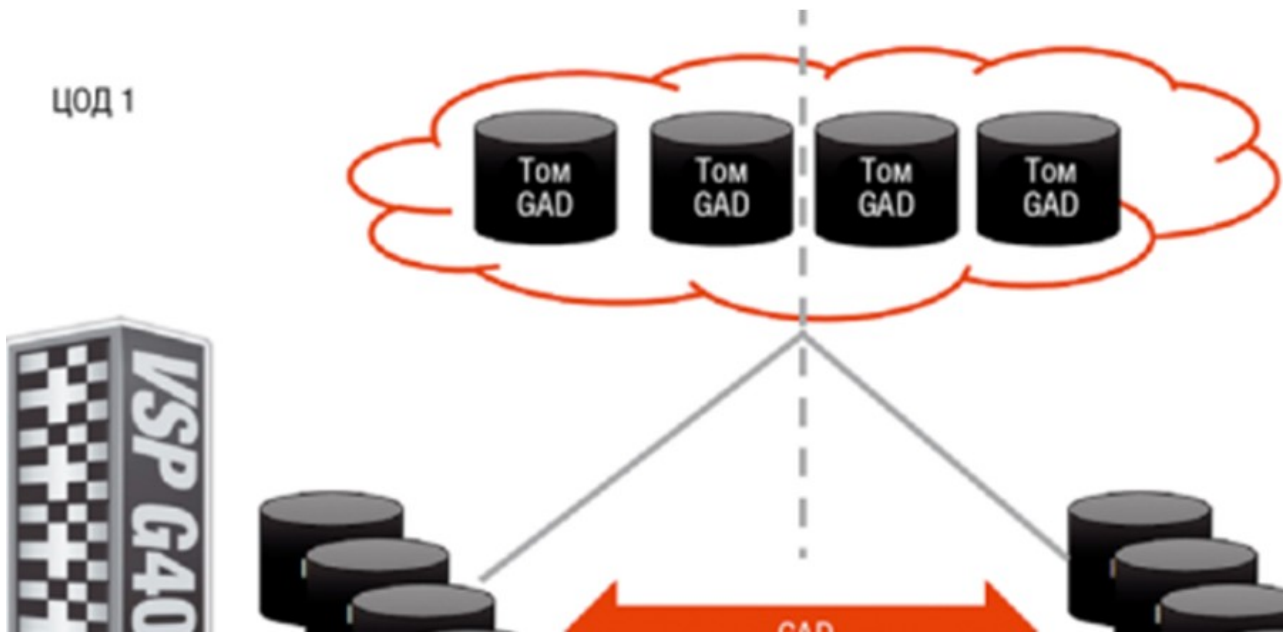


Рисунок 1 – Структурна схема системи

### Продуктивність СЗД при збоях

Продуктивність ЦОД при апаратних збоях – не менш важливий момент, на який ІТ-фахівці не завжди звертають увагу при виборі конфігурації ЦОД. Продуктивність ЦОД завжди оцінюється в той момент, коли всі її складові функціонують у штатному режимі. Але так буває не завжди: іноді вихід з ладу одних компонентів ЦОД не робить ніякого впливу на продуктивність, у той час як поломка інших приводить до її істотного зниження.

Наприклад, при виході з ладу обчислювального контролера у двоконтролерної ЦОД продуктивність може знизитися більш ніж у два рази. Це пов'язане із забезпеченням захисту цілісності даних: при роботі на запис кеш переводиться в режим Write-through, що поряд із втратою обчислювальної потужності одного контролера приводить до подальшого зменшення продуктивності ЦОД.

Таким чином, щоб при виході з ладу будь-якого компонента продуктивність як і раніше відповідала певним вимогам, у конфігурації ЦОД доводиться передбачати додаткові ресурси, які в штатному режимі роботи ЦОД використовуватися не будуть. Якщо ж передбачається застосування віддаленої синхронної реплікації для захисту від збою ЦОД, у випадку сильного зниження продуктивності основний ЦОД, викликаного збоєм одного з її компонентів, ввод-вивід ІТ-системи може перемикатися на резервну площадку.

### Проблема вибору конфігурації

Вибір конфігурації як ЦОД, так і рішення в цілому залежить від вимог до продуктивності ІТ-системи й від можливих фінансових втрат при погіршенні якості її роботи.

Ми торкнулися далеко не всі аспекти вибору конфігурації ЦОД і планування її експлуатації, пов'язані із продуктивністю. Існує безліч різних методик оптимізації конфігурації рішення, у яких ураховуються вихідні вимоги, тип застосунку й багато чого іншого. Більше того, зі зміною підходу до зберігання даних – від приватних сховищ до хмарних, від блокового зберігання даних до файлового й об'єктного зберігання – будуть трансформуватися й методики розрахунку параметрів сховищ даних, що забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики. Однак можна із упевненістю затверджувати, що тема продуктивності зберігання даних була, є й буде важливою складовою при виборі будь-якого сучасного ІТ-рішення.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.
- Досліджена система кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД.

Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання кешування, флеш-технології та реплікації ЦОД. 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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianova, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.
5. 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.
6. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchew, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR*

- Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
16. 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.
  17. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiiian 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.
  18. 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.
  19. 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.
  20. 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.
  21. 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.
  22. 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.
  23. 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.
  24. 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.
  25. 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.
  26. 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.
  27. 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.
  28. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiiian, 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.
  29. 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.
  30. 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.
  31. 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.*