

УДК 004

О.Семенюк магістр гр. КІ-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ SAN НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ FC GEN

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

SAN, FC Gen

Постановка проблеми. У світі IT-інфраструктури сховище даних є критично важливим; саме там зберігаються дані, існують безпечні копії, і це основа продуктивності програм. Незалежно від того, скільки ядер процесора чи скільки пам'яті може мати сервер, кожен сервер очікує на дані.

Отже, сфера застосування цього середовища включає ранні дискові накопичувачі, стрічки для безпечного та економічно ефективного резервного копіювання даних, а також програмні реалізації, що забезпечують доступ, продуктивність та безпеку. Крім того, обов'язки адміністратора сховища включають захист копій даних за допомогою конфігурацій RAID або рішень для реплікації між сайтами.

Мантра адміністраторів сховищ: «одна копія будь-якого набору даних – це єдина точка відмови, яка чекає на катастрофу». Втрата даних ніколи не є прийнятним варіантом з точки зору програми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи зберігання даних san на основі стандарту FC GEN.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

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

- Огляд існуючих систем зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.
- Дослідження системи зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.
- Програмна реалізація системи зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

Об'єктом дослідження є процес зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

Предметом дослідження є методи зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

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

Виклад основного матеріалу. Протягом багатьох років стан середовищ зберігання даних в IT різко змінився. Короткий огляд змін проведе вас від ранніх стрічкових систем через еволюцію жорстких дисків (HDD) до розробки RAID-систем та корпоративних масивів. Однією з традиційно вірних речей було те, що сховища, засновані на структурних

блоках HDD, розвивалися повільно. Перехід від дисків зі швидкістю 5400 об/хв до дисків зі швидкістю 7200 об/хв як елемента продуктивності (більше даних під головою) за секунду знадобився десять років, щоб повністю заповнити центри обробки даних. Інші розробки включали щільність магнітної сигнатури на пластині диска та кількість пластин і головок на диск. Ця ретроспектива корисна лише тим, що вказує на те, що середовище зберігання даних в ІТ не розвивалося так швидко, як, скажімо, розробка процесорів або продуктивності та ємності пам'яті.

Ці розробки були в кремнії, а розробка накопичувачів була механічною. Як наслідок, закон Мура застосовувався до процесора та пам'яті, але не до сховища. Характер сховища почав змінюватися з появою твердотільних накопичувачів (SSD).

Спочатку прогрес був помірним. Блискучим кроком, що сприяв виходу на ринок, постачальники накопичувачів зробили платформу SSD такої ж форми/корпуса, як і існуючі жорсткі диски (HDD), з тими ж роз'ємами SCSI, SAS та SATA, що означало сумісність роз'ємів на серверній частині масиву для нової технології. Однак на ранніх етапах контролери корпоративних масивів та, у випадку вбудованих дискових накопичувачів у серверах, стек драйверів ОС не скористалися перевагами зміни продуктивності та інших характеристик дисків. Те, що стек ОС не використовував переваги нової технології, було однією з причин, чому ранні гібридні масиви, які використовували поєднання традиційних HDD та SSD-накопичувачів на серверній частині, були менш продуктивними, ніж очікували багато адміністраторів сховищ. Невідповідність очікуванням вплинула на рівень впровадження, і ІТ-організація не відчувала таких значних проблем з існуючими мережами зберігання даних, як очікувалося. Протягом понад 40 років в ІТ ми усуваємо вузькі місця в продуктивності процесора, швидкості/масштабу пам'яті, ємності/продуктивності сховища та швидкості мережі. Просте усунення одного вузького місця дозволяє знайти наступне, подібно до того, як розширення одного сегмента головної автомагістралі переміщує трафік до наступної вузької ділянки автомагістралі. В результаті багато клієнтів вважали, що приріст продуктивності порівняно з технологічними вартістю підходить лише для їхніх найвимогливіших застосувань.

Вартість за терабайт стала більш привабливою з появою середовища повністю флеш-масивів та вбудованих функцій, таких як стиснення, шифрування та дедуплікація. Крім того, новіші контролери корпоративних масивів були розроблені для характеристик продуктивності повністю флеш-пам'яті та значно збільшили як кількість операцій вводу/виводу за секунду (IOPS), так і затримку. До цього додалася щільність зберігання, яка дозволила їм об'єднати кілька стійок платформ HDD у часткову стійку SSD з перевагами зниження енергоспоживання та охолодження. Яким був наслідок? Спостерігається набагато швидший темп впровадження повністю флеш-масивів, які наразі становлять понад 70% від загального середовища поставок.

Цей технологічний зсув призводить до зміни вимог до проектування мереж зберігання даних, що актуально незалежно від використовуваної технології. Якщо очікується використання потужності та продуктивності цих платформ, то необхідно серйозно розглянути проектування.

Виділена інфраструктура мережі зберігання даних, яка забезпечує безварті, низькозатримкові, детерміновані, масштабовані та продуктивні послуги зберігання даних для програм, стає критично важливою. Адміністратори сховищ обговорюватимуть коефіцієнти розподілу даних для платформ зберігання, які являють собою кількість серверів та програм у мережі, що використовують певний масив або порт масиву для свого доступу до сховища.

Залежно від типів програм та їхніх потреб у продуктивності, це співвідношення може коливатися від невеликих одиниць до 40-50 серверів (сотень віртуальних машин). Як і в будь-якому сценарії забезпечення ресурсами, адміністратор сховища має справу з прогнозами того, скільки потужності та продуктивності використовуватиме будь-який сервер або програма. Але продуктивність програм є змінною; час доби, тиждень, місяць, а також сезонні або подіями викликають піки або падіння попиту на програми.

Ще один момент полягає в тому, що вся база програм не оновлюється одночасно. Типовий сценарій полягає в тому, що в середовищі одночасно існують кілька поколінь продуктивності. Наявність вікон обслуговування спонукає це до перепланування існуючих середовищ на нові сервери та сховища. Деякі застарілі програми можуть не мати середовища, яке працює під керуванням поточної операційної системи або версії програми. Одна може мати десятирічні або старіші операційні системи, підключені до НВА з двома або більше старішими поколіннями технологій. Як же тоді збалансувати цю все ще критично важливу програму з потребами та продуктивністю новіших машин?

Відповідь полягає в поєднанні топології, збалансованого виділення ресурсів, детального моніторингу та автоматизованого пом'якшення наслідків.

Найбільш гнучкою конфігурацією є топологія «ядро-край». Така архітектура дозволяє значне масштабування, зберігаючи при цьому низьку кількість переходів, тобто кількість передач даних з однієї платформи на іншу. Локальність підключення сховища для високопродуктивних програм – це міркування, яке спонукає деяких адміністраторів сховищ розміщувати порти сховища на тому ж блейд-сервері, комутаторі або групі портів, що й сервер програм. Однак така конструкція впливає на гнучкість ІТ-відділу для переміщення програми з однієї серверної платформи на іншу (не є тривіальним міркуванням у високо віртуалізованому середовищі, де платформи гіпервізора можуть часто переносити програми між серверними платформами).

Ще однією альтернативною топологією є повністю сітчаста конструкція; кожен комутатор має прямий ISL до кожного іншого комутатора в структурі. Повна сітчаста конструкція є проблематичною для середовищ з багатьма комутаторами, оскільки вона використовує цінні порти для ISL, які в іншому випадку використовувалися б для підключення серверів та сховища. Платформи Director мають міжшасі (ICL), що забезпечує виняткову пропускну здатність та масштабування між шасі без використання портів. Повна сітчаста конструкція гарантує, що жоден кінцевий пристрій не знаходиться на відстані більше одного переходу від будь-якого іншого кінцевого пристрою.

З точки зору продуктивності, важливо зазначити, що поява повністю флеш-центрів обробки даних також означає, що нові технології зберігання даних, засновані на продуктивності, ємності або обидва варіанти, з'являються з інтервалом від 18 до 24 місяців. Оновлення технологій не означає повну заміну існуючих платформ, а радше те, що ваша мережа зберігання даних повинна бути здатною вмістити приблизно дві такі ітерації за 4-5-річний цикл амортизації капіталу. Однією з переваг Fibre Channel SAN є подвійне резервування апаратного забезпечення та ізольований характер архітектур SAN. Архітектури тканин А та В передбачають, що жоден дефект пристрою, планове технічне обслуговування, випадкова подія людини чи зловмисна діяльність повністю не виведуть підключення до сховища з офлайн-режиму. Підтримка мережі сховища в режимі онлайн дозволяє безперебійне оновлення технологій, що стосується технологічних оновлень елементів мережі зберігання даних та підключеного сервера та сховища.

Однією з додаткових змін, необхідних для повністю флеш-центру обробки даних, є покращений моніторинг, частково завдяки зменшенню затримки, критичності даних та великої кількості даних, що передаються в сучасних SAN.

Процес планування SAN подібний до будь-якого процесу планування проекту та включає такі фази:

- Фаза I: Збір вимог.
- Фаза II: Розробка технічних специфікацій.
- Фаза III: Оцінка витрат на проект.
- Фаза IV: Аналіз рентабельності інвестицій (ROI) або загальної вартості володіння (TCO) (за необхідності).
- Фаза V: Створення детального плану проектування та впровадження SAN.

Вибираючи критерії, які слід відповідати, слід залучити користувачів, експертів з серверів та сховищ даних (SME) та інших відповідних експертів, щоб зрозуміти роль

структури. Оскільки більшість SAN працюють протягом тривалого часу, перш ніж їх оновлювати, врахуйте майбутнє зростання, оскільки SAN складні для реархітектури. Розгортання нових SAN або розширення існуючих для задоволення додаткових робочих навантажень у структурах вимагає критичної оцінки бізнес- та технологічних вимог. Правильна увага до планування забезпечить, щоб SAN після розгортання відповідала всім поточним та майбутнім бізнес-цілям, включаючи доступність, простоту розгортання, продуктивність, майбутнє зростання бізнесу та вартість.

Критичним аспектом успішного впровадження, який часто ігнорується, є постійне управління інфраструктурою. Визначення SME системного рівня для всіх компонентів, що складають SAN, та належне й актуальне навчання з цих компонентів має вирішальне значення для ефективного проектування та операційного управління інфраструктурою.

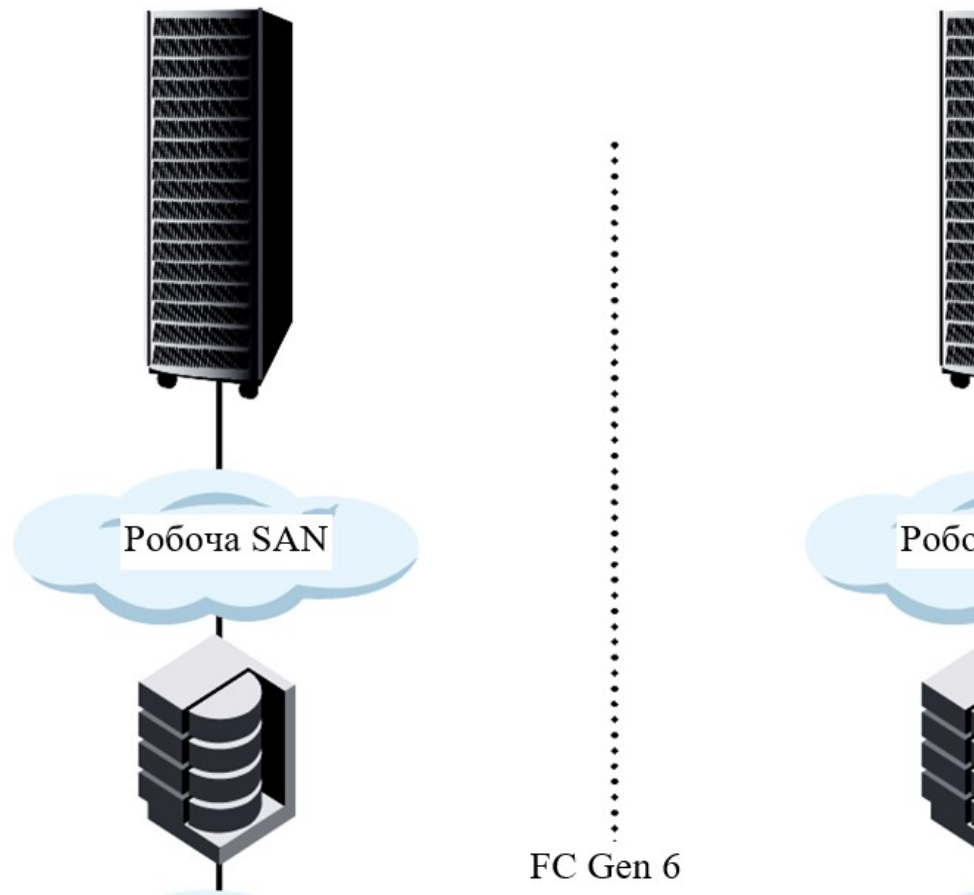


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Під час проектування нової SAN або розширення існуючої SAN слід врахувати такі параметри:

1. Віртуалізація додатків:

– Які додатки працюватимуть у середовищі віртуальних машин (VM)?

– Скільки VM працюватиме на фізичному сервері?

– За яких умов VM будуть мігрувати (робочий та неробочий час; чи потрібен додатковий процесор або пам'ять для підтримки часу відгуку)?

– Чи є потреба в твердотільних носіях для покращення часу відгуку на читання?

2. Однорідні/неоднорідні серверні та сховищні платформи:

– Чи використовуються блейд-сервери чи стійкові сервери?

– Чи впроваджено автоматичне розподілення на рівні?

– Які версії Brocade Fabric OS® (FOS) підтримуються в середовищі зберігання даних від різних постачальників?

– Який запланований цикл оновлення серверів та платформ зберігання даних (2 роки або 3 роки)?

3. Масштабованість:

– Скільки портів користувачів потрібно зараз?

– Скільки пристроїв підключатиметься через шлюз доступу?

– Скільки ISL та Brocade UltraScale ICL потрібно для мінімізації перевантаження в мережі?

– Які відстані для з'єднань ISL та ICL потрібно підтримувати?

– Чи масштабується мережа на межі ядра?

4. Резервне копіювання та стійкість до аварій:

– Чи є централізоване резервне копіювання? (Це визначає кількість ISL, необхідних для мінімізації перевантаження при пікових навантаженнях.)

– Який вплив резервного копіювання на чутливі до затримки програми?

– Чи базується рішення для ліквідації аварій на міжміських ISL метрополітену FC чи на рішенні FC over Internet Protocol (FCIP)?

5. Діагностика та керованість:

– Який основний інтерфейс керування для SAN (CLI, Brocade SANnav або інструмент стороннього виробника)?

– Як часто оновлюватимуться Brocade FOS та SANnav?

– Як перевіряється цілісність кабелів та оптичних елементів?

6. Захист інвестицій:

– Чи потрібна підтримка для додавання комутаторів Gen 7 до структури Gen 6?

– Чи потрібна підтримка для технологій зберігання даних, таких як NVMe поверх структур?

– Яка підтримка сумісності пристроїв потрібна?

– Чи потрібна сумісність для інших технологій, таких як UCS?

Типова архітектура SAN складається з периферійних пристроїв, мережевих пристроїв та кабелів. Топологія зазвичай описується з точки зору взаємопов'язаних комутаторів, таких як згорнуте ядро, ядро-край та повна мережа. Рекомендована топологія SAN для оптимізації продуктивності, доступності, управління та масштабованості – це багаторівнева топологія "ядро-край". Підхід "ядро-край" забезпечує хорошу продуктивність без зайвих взаємозв'язків. На високому рівні багаторівнева топологія має велику кількість периферійних комутаторів, що використовуються для підключення пристроїв, та меншу кількість основних комутаторів, що використовуються для маршрутизації трафіку між периферійними комутаторами, як показано на рисунку 1.

Fibre Channel over Ethernet (FCoE) забезпечує передачу трафіку Fibre Channel по локальній мережі Ethernet. Інкапсуляція фреймів FC у кадри Ethernet дозволяє сполучати блоковий трафік систем зберігання з іншим трафіком LAN. У результаті спрощується мережна інфраструктура ЦОД і знижуються витрати, оскільки не потрібно обслуговувати кілька мереж. Однак, як вважають деякі фахівці, незалежно від того, яка технологія використовується, фабрика повинна працювати у виділеній мережі зберігання й ні про яку конвергенцію з мережею передачі даних не може бути мови – ризики переважають вигоди у вартості рішення.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

– Був проведений огляд існуючих систем зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

– Досліджена система зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

– На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen.

Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання зберігання даних SAN на основі стандарту FC Gen. 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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
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., Kiiian 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., 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.
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., 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.
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. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Кравченко С.С., Горбов В.О., «Хмарна система підтримки прийняття рішень технологічного процесу відновлення поверхонь конструкцій і деталей машин». Сучасні інформаційні системи. 2021. Т. 5, № 4. С. 79-95
 25. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. №4. С. 103-110. 2020.
 26. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.
 27. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В., Поліщук Л.І. Інформаційна безпека в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2020. – 294 с.
 28. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g» у Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.
 29. Смірнов О.А., Дресєва Г.М., Дресєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральнотрапійський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.
 30. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.
 31. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova, K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).
 32. Смірнов О.А., Дресєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139